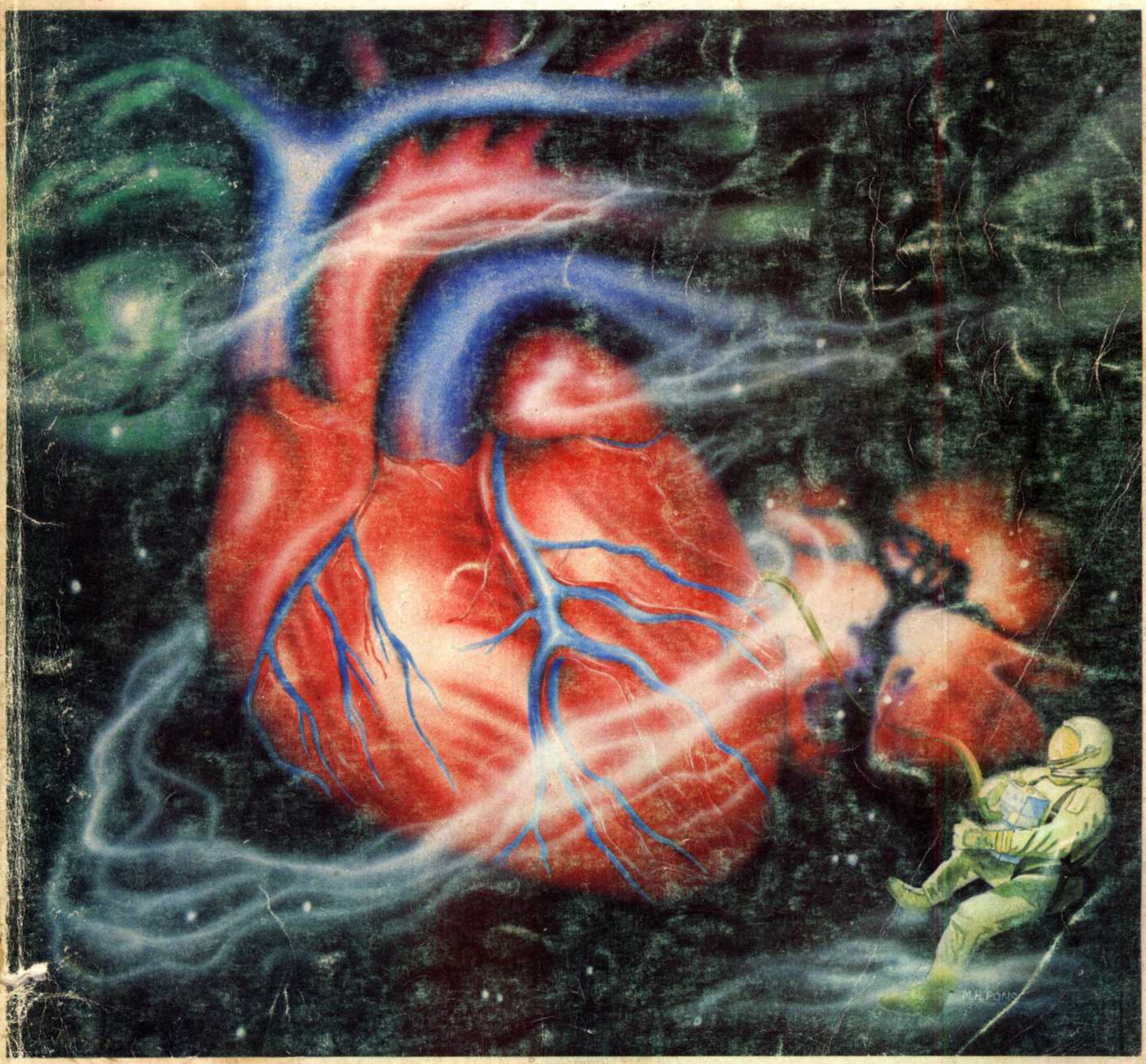
MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

DE EDITORIAL FONTALBA

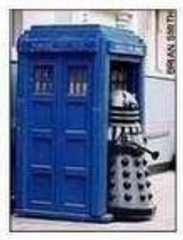
Los cetáceos del Mediterráneo • Mito y ciencia
La biología en el espacio • La macroevolución
La astronomía Maya • Las anomalías del agua
Los «SQUID» • La cinematografía con rayos X

Nº 16
MENSUAL
300 Ptas.



ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano* Nº 16

Nuestra portada:

En el espacio, la ausencia de gravedad reproduce diversos trastornos. Si bien el organismo se adapta rápidamente a las nuevas condiciones de vida, se desconocen, en gran parte, los límites de la adaptación humana y sus mecanismos. Hubert Planes nos explica en «La biología en la ingravidez» (p. 700), que, gracias a las investigaciones espaciales, se conocerán los efectos de la ausencia de gravedad en los seres vivos. (Ilustración: Marie-Hélène Pons.)

700 **LA BIOLOGÍA EN LA INGRAVIDEZ,** por Hubert Planel.
En el espacio, la ausencia de gravedad provoca diversos trastornos. Si bien el hombre se adapta rápidamente a las nuevas condiciones de vida, los límites de la adaptación humana no son bien conocidos. ¿Qué sucederá cuando las estancias en el espacio sean de varios años?

712 **LOS ELIXIRES DE LARGA VIDA,** por Antoine-Louis Lecocq.
El ácido úrico ha tenido hasta el presente mala reputación: es la causa de la gota. Actualmente, parece ser que protege del cáncer. Y lo que es mejor: tendría una acción eficaz contra el envejecimiento.

714 **LOS CETÁCEOS DEL MEDITERRÁNEO,** por Adrià Casinos.
Se han inventariado diecinueve especies de cetáceos en el Mediterráneo. ¿Qué futuro les espera?

726 **LAS ANOMALÍAS DEL AGUA,** por C. Austen Angell.
Después de doscientos años de investigación, se empiezan a explicar las anomalías del agua. Pero queda una cuestión por aclarar: ¿Por qué la naturaleza ha reservado las propiedades más extrañas al líquido más abundante?

738 **LOS SQUID,** por Brian W. Petley.
Desde que se descubrió la supraconductividad y el efecto Josephson, se asiste a un rápido desarrollo de gran cantidad de aplicaciones. Entre ellas, la puesta a punto de los SQUID, sondas destinadas a medir campos magnéticos extremadamente débiles, ha abierto nuevos horizontes en la metrología y la medicina.

750 **DOSSIER: MITO Y CIENCIA**
Las construcciones del espíritu humano, por John Maynard Smith.
Entre el mito y la ciencia, la moral, por Paul Valadier.
Ideología y verdad, por Evry Schatzman.
¿Qué relación hay entre pensamiento mítico y pensamiento científico? Tres puntos de vista distintos permiten comprender mejor el significado y las posiciones adoptadas en esta cuestión tan disputada.

762 **EL VIDEODISCO NUMÉRICO,** por Gérard Couturier.
El disco óptico numérico, descendiente inmediato del videodisco, juega un papel clave en el archivo automático. En un disco se podrán memorizar el equivalente a doce metros de estantería de biblioteca.

766 **LA CINEMATOGRAFÍA ULTRARRÁPIDA CON RAYOS X,** por Francis Jamet.
Los investigadores han puesto a punto un cine X de 40 millones de imágenes por segundo. Ello provocará auténticas revoluciones en algunas investigaciones.

773 **TRIBUNA LIBRE:**
Análisis de la investigación biomédica en España, por Jesús Sebastián.

780 **LA ASTRONOMÍA MAYA,** por Anthony F. Aveni.
La arqueoastronomía, con la ayuda de las informaciones obtenidas de los códices y del estudio de la arquitectura maya, nos propone un viaje en el tiempo a las fuentes de la religión maya.

788 **LA EXTINCIÓN DE LAS ESPECIES,** por Paul Hopkins y Marcel Blanc.
Desde ahora, la creación y mantenimiento de las reservas naturales debe evitar la nueva catástrofe ecológica que se avecina: la extinción de la mayoría de las especies de grandes mamíferos y de aves.

792 **LA MACROEVOLUCIÓN,** por Niles Eldredge.
Para muchos biólogos actuales, la evolución a gran escala de los grandes grupos de animales se explica por mecanismos distintos de los que gobiernan la evolución a pequeña escala en el seno de las poblaciones naturales.

769 **Informaciones y noticias**
804 **Libros**
807 **Publicaciones recibidas**
808 **Manifestaciones científicas**
809 **Sumario inglés**

La biología en la ingravidez

por Hubert Plan

Hubert Planel es profesor de la Facultad de Medicina de Toulouse y director del Grupo de investigaciones biológicas espaciales.

■ **En el espacio, la ausencia de gravedad provoca diversos problemas, pese a lo cual el o ganismo humano se adapta rápidamente a esas nuevas condiciones de vida. Así, el hombr puede residir durante muchos meses en la ingravidez sin demasiados inconvenientes, razó de que hayan tenido éxito los vuelos espaciales tripulados.**

■ **A pesar de todo, quedan por resolver algunos problemas fisiológicos antes de poder plan tear estancias de algunos años en el espacio: los límites de la adaptación humana y sus me canismos son en gran parte desconocidos. Los métodos de simulación en tierra no permite crear una verdadera ingravidez, de modo que, sólo las investigaciones espaciales permitirá conocer los efectos de la ausencia de gravedad sobre los seres vivos.**

■ Por vez primera, un hombre efectuaba el 12 de abril de 1961 un vuelo espacial a bordo del *Vostok 1* y retornaba a la Tierra sano y salvo al cabo de 1 h 48 minutos. Este primer vuelo de Yuri Gagarin iba a transformar la conquista del espacio, hasta entonces un notable objetivo tecnológico, en una nueva aventura humana. Una segunda etapa fue franqueada el 21 de julio de 1969, cuando Edwin Aldrin y Neil Armstrong pisaron el suelo lunar. El éxito de estos vuelos tripulados fue el resultado de un número importante de trabajos preparatorios efectuados en el laboratorio o en el espacio, trabajos que habrán demostrado la posibilidad de supervivencia de organismos tan complejos como los mamíferos en un medio donde los factores ambientales son muy diferentes de los terrestres. ¿Cuáles son estos factores del ambiente espacial y qué influencias ejercen sobre los organismos vivos?

Los primeros se manifiestan desde el lanzamiento y durante los primeros minutos: son los factores dinámicos del vuelo, aceleraciones y vibraciones (fig. 1). Aunque éstos plantean serios problemas a nivel de los equipos mecánicos y electrónicos, su influencia desde el punto de vista biológico y médico es relativamente poco importante.

Durante la fase orbital del vuelo se manifiestan numerosos y nuevos factores. Algunos no actuarán más que sobre los objetos situados en el exterior del vehículo espacial. Se trata, en concreto, de: una temperatura que oscila entre —150 °C y + 150 °C según la orientación respecto al Sol, la naturaleza y el color del material expuesto; la radiación ultravioleta particularmente intensa, debido a la ausencia de atmósfera gaseosa; y finalmente, la presión extremadamente débil, del orden de 10^{-13} mm de mercurio ($1{,}3 \times 10^{-10}$ Pa). Es inútil decir que la mayoría de los seres vivos no sobrevivirían en estas condiciones ambientales. Únicamente algunas formas de vida inferiores podrían hacerlo. Se han encontrado bacterias vivas sobre la superficie de vehículos espaciales, después de cuatro meses de exposición, siempre a condición de quedar protegidas de la radiación solar. La marca de supervivencia pertenece a un estreptococo,[1] aislado de una cámara de televisión situada en el *Surveyor III*, después de una estancia de dos años y medio sobre la superficie lunar.

Los otros factores del ambiente espacial ejercen su acción sobre los objetos situados tanto en el exterior como en el interior de la nave espacial: se trata de la ausencia de gravedad o agravidez, llamada a menudo ingravidez por la mayor parte de los especialistas —o mejor, microgravedad— y, más accesoriamente, de la irradiación por los rayos cósmicos primarios. En este artículo nos limitaremos únicamente a los efectos de la ingravidez.

Simular la ingravidez

La biología y la medicina espacial que se consagran al estudio de la influencia de estos dos factores tienen como primer objetivo asegurar la supervivencia del hombre en el espacio. Aunque este problema parece resuelto para los vuelos de hasta unos seis meses, aún se plantean numerosos problemas para los viajes de más larga duración: una misión tripulada a Marte duraría alrededor de unos tres años. El segundo objetivo es de orden fundamental: la biología y la medicina espaciales pretenden mejorar nuestros conocimientos sobre la estructura, la fisiología y la evolución de la biosfera. Efectivamente, el conjunto de los seres que habitan la superficie de la Tierra están sometidos a la influencia permanente y obligatoria de la radiación cósmica y de la gravedad. Las especies han sido creadas, han evolucionado y se han adaptado a la influencia de la atracción terrestre. Su estudio interesa, pues, tanto al biólogo como al médico. El espacio va a constituir, en este tema, un importante medio de estudio: únicamente él permite modificar la influencia de la gravedad durante largos períodos. Si bien es posible conseguir en tierra hipergravedades mediante centrífugas, por el contrario no es posible estudiar en tierra los efectos de una ingravidez prolongada. Únicamente los vuelos en aviones en trayectorias parabólicas al final de la fase ascensional crean ingravidez, pero solamente durante unos veinte segundos. Los demás métodos no pueden s mular más que muy imperfectamente l ausencia de gravedad. Los clinostatos utilizados a menudo para el estudio de geotropismo en los vegetales, son dis positivos que mediante una rotació lenta permiten invertir periódicament los efectos de la gravedad. No se trat más que de una simulación grosera d la ingravidez, aun cuando recientemen te se haya realizado una mejora impor tante con los clinostatos de rotación rá pida desarrollados por Briegleb,[2] en l República Federal de Alemania, utiliza dos en concreto con células u objetos de tamaño pequeño.

En el hombre, la simulación de l ingravidez se fundamenta en dos técn cas: por una parte, la inmovilizació prolongada que sitúa en reposo al apa rato locomotor y suprime la influenci ejercida por la gravedad sobre la mas sanguínea en ortostatismo, es deci cuando el cuerpo está en posición verti cal; por la otra, la inmersión prolongad durante algunos días o algunas sema nas, que permite compensar parcial mente la gravedad por el empuje d Arquímedes. Estas técnicas están sien do cada vez más utilizadas; muchas ex periencias han sido realizadas en Fran cia por los doctores Bes y Guell,[3] en Toulouse, y las respuestas fisiológicas se parecen a las observadas en los vuelos espaciales. De hecho, todas es tas técnicas no pueden crear una ingra videz real, y únicamente las experien cias espaciales nos permitirán conoce mejor los efectos de la ingravidez sobr los seres vivos.

Figura 1. **Durante el lanzamiento, el hombr está sometido a la influencia de vibraciones y aceleraciones, igual que durante el retorno a la Tierra. Durante la fase orbital del vuelo es tará sometido, durante las salidas fuera del vehículo, a un vacío muy intenso, a una ra diación solar y ultravioleta muy elevada. Tam bién sufrirá la influencia de la radiación cós mica y de la ingravidez. Aunque esté protegi do en el interior de la cabina, el astronauta no podrá librarse de la radiación cósmica ni de la ingravidez. Tanto lo uno como lo otro ejercen igualmente su influencia en tierra, como describe la célebre observación de Newton.**

(1) R. Taylor, *Ann. Rev. Microbiology, 28,* 121, 1974.
(2) W. Briegleb y cols., *J. Interdisciplin. Cycle Res., 8,* 387, 1977.
(3) A. Guell y cols., *The Physiologist, 23,* 150, 1980.

sol

radiación
cósmica

radiación
solar UV

vacío

+ 150 °C

— 150 °C

ingravidez

vibraciones
aceleración

vibraciones
aceleración

radiación
cósmica

gravedad
g1

En la ingravidez, la masa sanguínea se redistribuye. Consecuencias: ¡hinchazón del rostro y adelgazamiento de las piernas!

Hinchazón de la cara y «patas de pollo»

Todo el mundo sabe que la gravedad es el origen del peso de los cuerpos, ya que éste es el producto de su masa por la constante g o constante de atracción universal. Pero la gravedad es también una fuerza orientada: siempre dirigida hacia el interior del globo, sirve de vector de referencia para nuestra orientación y el mantenimiento de nuestro equilibrio. Todos los seres vivos poseen, por lo tanto, dispositivos particulares, gravicaptadores, sensibles a la gravedad y capaces en todo momento de informar al ser vivo sobre su posición.

En los seres superiores, y en particular en el hombre, los principales efectos de la gravedad y por consiguiente de la ingravidez se manifiestan a tres niveles. La acción de la gravedad se ejerce principalmente sobre todo el conjunto del aparato circulatorio sanguíneo. En posición vertical, debido a la gravedad, la presión sanguínea en los vasos situados debajo del corazón es superior a la presión intracardiaca. Siempre en posición vertical, la gravedad favorece la salida de sangre hacia las partes inferiores del cuerpo y por el contrario entorpece la circulación de sangre arterial hacia el cerebro. Después de pasar de la posición tendida a la posición de pie, la sangre tiene tendencia, debido a su peso, a acumularse en las partes bajas del cuerpo provocando una disminución de presión en las arterias situadas por debajo del corazón. De esta manera se crea una hipotensión que va a repercutir notablemente sobre la pared del cayado de la aorta y en la del seno carotídeo (en el origen de la arteria carótida interna). Estas regiones contienen los barorreceptores sensibles a la presión sanguínea y a cualquier estiramiento: estimulados en posición vertical, ocasionan por vía refleja un aumento de la frecuencia y del gasto cardiaco, así como una constricción de las arterias periféricas. Gracias a estos fenómenos compensadores, la tensión arterial podrá ser mantenida y la acumulación de sangre en los miembros inferiores se encontrará limitada.

Este proceso no será el mismo en la ingravidez. En efecto, desde el inicio de la fase orbital del vuelo, la masa sanguínea, liberada de la influencia de la atracción terrestre, se desplaza al interior del sistema vascular: de 0,6 a 2 litros dé sangre abandonan la parte inferior del cuerpo y se dirigen hacia las regiones torácica, cervical y cefálica (fig. 2). Se dice que hay una redistribución de la masa sanguínea. Este fenómeno, que se produce igualmente en posición tendida o en el caso de una inmersión prolongada, explica la hinchazón habitual del rostro de los astronautas. Inversamente, las piernas se adelgazan y toman el aspecto denominado «patas de pollo». La sangre se acumula igualmente a nivel del corazón provocando una dilatación de las aurículas izquierda y derecha. Su pared alberga volorreceptores, es decir, territorios sensibles a las variaciones del volumen sanguíneo. El organismo interpreta esta dilatación como si se tratara de una sobrecarga sanguínea real: la puesta en juego de los volorreceptores provoca, por vía nerviosa, una brutal disminución de la secreción de la hormona antidiurética (ADH), elaborada por una glándula endocrina ligada al cerebro, la neurohipófisis (la ADH tiende a disminuir la excreción urinaria —o diuresis— mediante la reabsorción de agua a nivel de los tubos urinarios del riñón). A esta hiposecreción de ADH va asociada una disminución de secreción de aldosterona: se trata de una hormona elaborada por la glándula suprarrenal, que controla la reabsorción de sodio a nivel del riñón y favorece, en consecuencia, la retención de agua en nuestro organismo. Su secreción depende de un sistema hormonal complejo, el sistema renina-angiotensina (fig. 3). Desde los primeros días de vuelo, se puede pensar que se producirá, al igual que en las experiencias de simulación realizadas en tierra, una caída en la secreción de ADH, de renina y de aldosterona. De ello resulta un incremento de la diuresis y una fuga del sodio urinario. Estos hechos explican que la ingravidez provoque una reducción del volumen líquido y una pérdida de peso del orden de 2 a 4 kg, observada en la mayoría de los astronautas. Estos fenómenos son, sin embargo, transitorios, y como han demostrado los trabajos de Berry,[4] durante mucho tiempo responsable del departamento de Ciencias de la Vida de la NASA, el organismo humano busca adaptarse a estas nuevas condiciones de vida. La hipovolemia, ligada a la pérdida de líquidos, provoca rápidamente una reacción inversa, es decir, una hipersecreción de aldosterona y de ADH. Hacia el cuarto día de vuelo se producirá un retorno a la normalidad, caracteri-

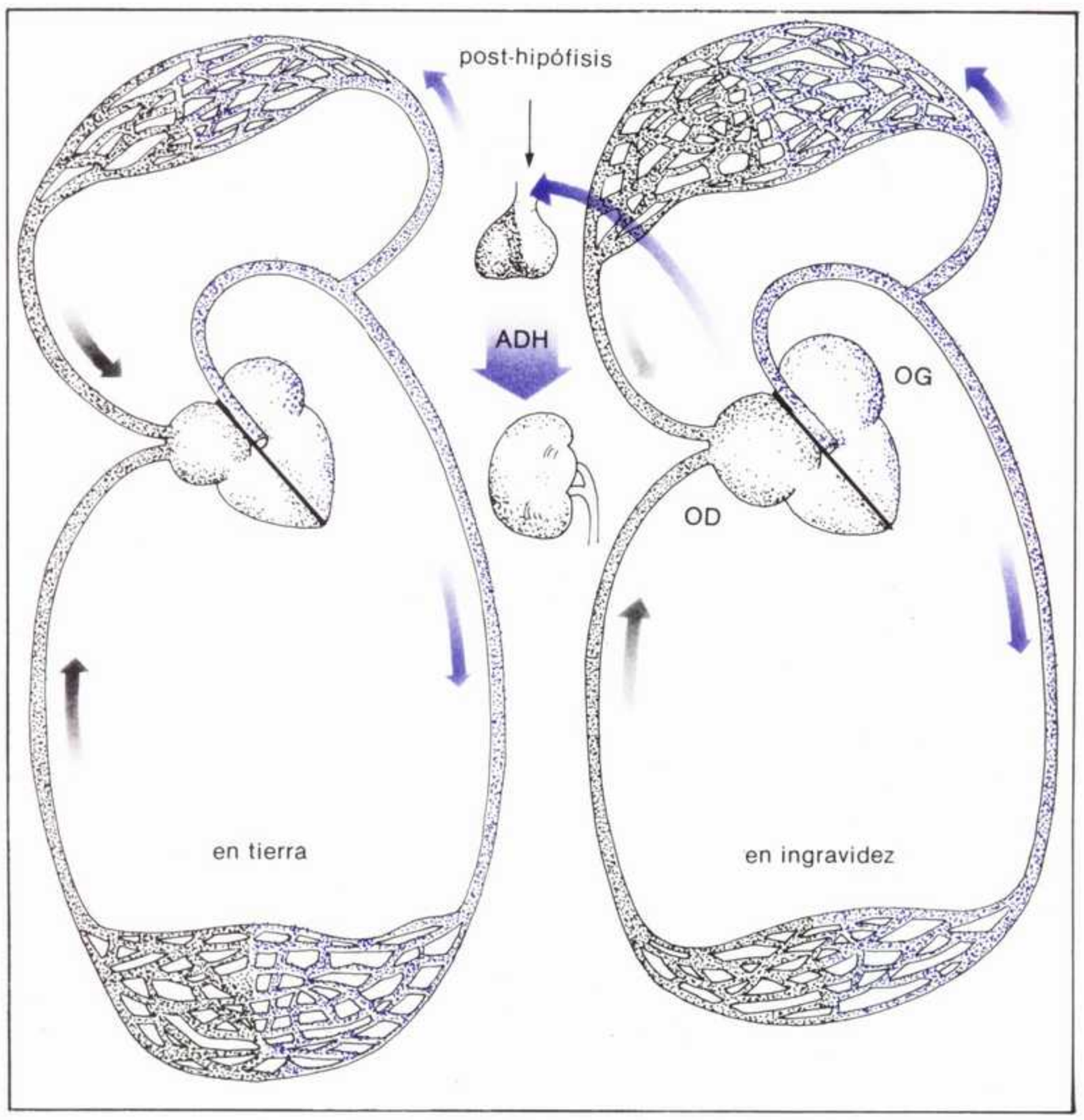


Figura 2. **En la ingravidez se produce una redistribución de la masa sanguínea en el sistema vascular, desde las primeras horas de vuelo: de 0,6 a 2 litros de sangre abandonan la parte inferior del cuerpo para dirigirse hacia las regiones cefálica, cervical y torácica. Las aurículas del corazón se dilatan, y ello provoca por vía refleja una disminución de la secreción, por la glándula posthipófisis o neurohipófisis, de la hormona antidiurética que controla la excreción urinaria (véase fig. 3).**

(4) C. Berry, *Aerospace Medicine, 45,* 1046, 1974.

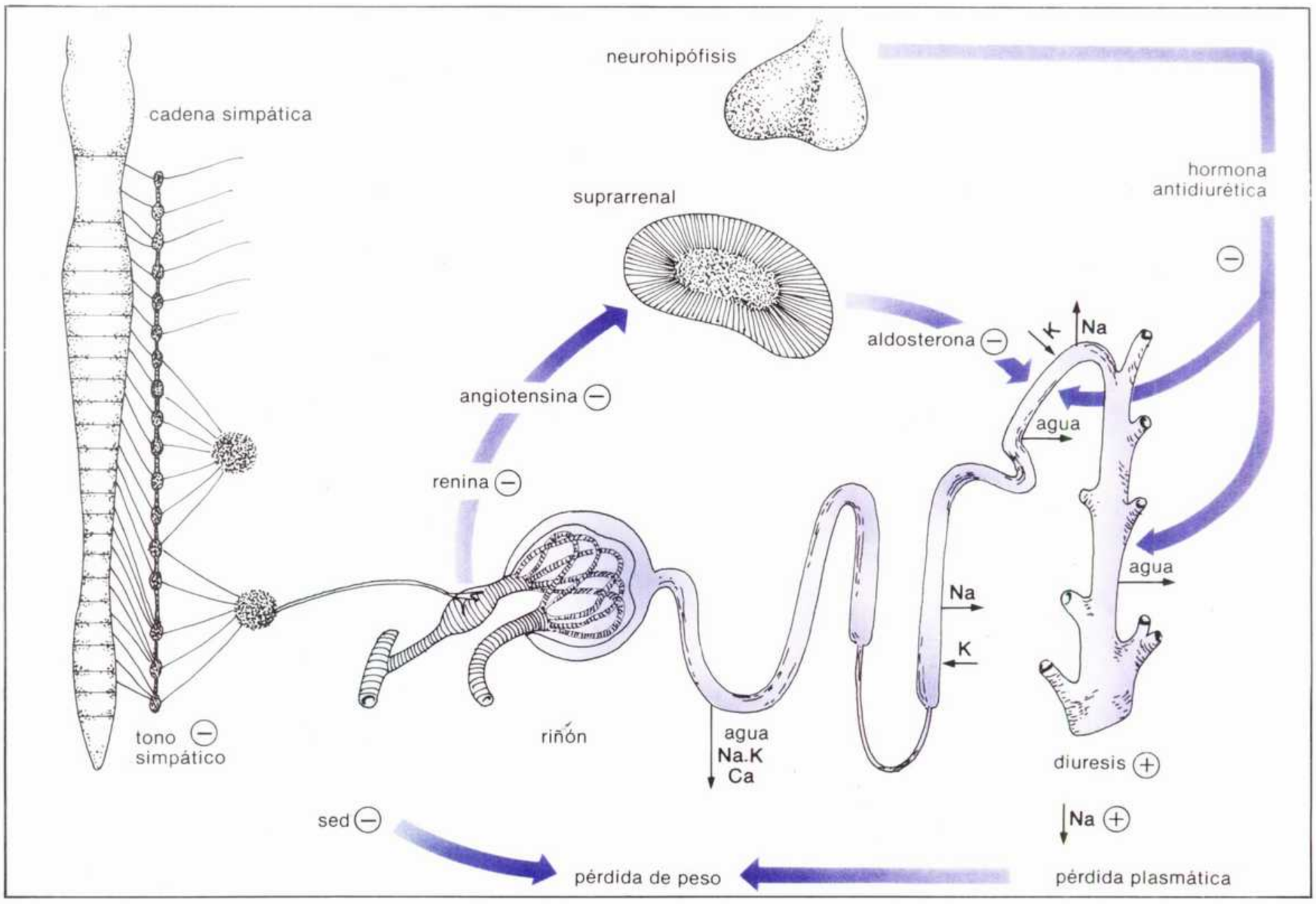


Figura 3. **La orina proviene de la filtración de plasma sanguíneo a nivel de los tubos urinarios. El agua y ciertos elementos minerales (Na^+, Ca^{++}, K^+) se reabsorben parcialmente en distintos segmentos del tubo urinario. La hormona antidiurética (ADH), elaborada por la neurohipófisis, favorece la reabsorción de agua. En los primeros días del vuelo espacial, el tono del sistema nervioso simpático disminuye, lo que implica un enlentecimiento de la circulación sanguínea intrarrenal y un incremento de secreción de la renina elaborada a nivel de los glomérulos renales. Sigue una disminución de angiotensina, que aparece normalmente en la sangre bajo la influencia de la renina. La glándula suprarrenal, normalmente estimulada por la angiotensina, disminuye su secreción de aldosterona, la cual controla la reabsorción de sodio en riñón, y favorece de esta manera la retención de agua en nuestro organismo. Simultáneamente, un descenso de la secreción de la hormona antidiurética provoca un incremento de la excreción urinaria (diuresis) y de ciertos elementos minerales. Ulteriormente se producen las reacciones inversas, lo cual demuestra la capacidad de adaptación del cuerpo humano. Por otro lado, la disminución del volumen plasmático, asociado a una atenuación de la sed de los astronautas, explica la pérdida de peso corporal normalmente observada.**

zado por una estabilización del paso y de los volúmenes líquidos del astronauta: este estado persistirá durante el resto de la misión espacial.

Durante estas distintas fases, el corazón parece poco alterado: a la aceleración (taquicardia) funcional del inicio sucede un ritmo cardiaco normal o, más a menudo, enlentecido. La tensión arterial aparece ligeramente disminuida, el gasto sanguíneo a la salida del corazón está sensiblemente aumentado, tal como se ha demostrado en recientes estudios realizados en la estación *Saliut 6*. A pesar de su capacidad de adaptación y de la discreción de los signos cardiacos, el aparato cardiovascular del astronauta continúa trabajando en condiciones anormales durante toda la duración del vuelo. En efecto, los cambios de posición corporal no pueden originar los fenómenos reflejos que permiten evitar, en tierra, la acumulación de sangre en las partes inferiores del cuerpo cuando el organismo se coloca en posición vertical. Estos conceptos explican la aparición de pequeños problemas, después del retorno a tierra, cuando se pasa de la posición tendida a la posición vertical: vértigos, náuseas, tendencia a los síncopes. Estos problemas son afortunadamente efímeros y su importancia se puede disminuir gracias al empleo repetido, durante el vuelo, de aparatos de baja presión que provocan un retorno pasajero de la masa sanguínea a los miembros inferiores.

El conjunto de estos datos muestra el papel que la gravedad puede ejercer directa o indirectamente sobre la regulación de la circulación sanguínea y del metabolismo hidromineral. A pesar del interés de los resultados ya conseguidos, con ocasión de las estancias prolongadas en las estaciones *Skylab* y *Saliut*, algunos puntos permanecen oscuros en este terreno y son necesarias nuevas experiencias: de esta manera la medición de los gastos circulatorios locales o de nuevas determinaciones hormonales, efectuadas en vuelo tanto en el hombre como en animales como los primates, permitirán comprender mejor las reacciones del sistema cardiovascular en los vuelos espaciales, al igual que los mecanismos reguladores de la circulación sanguínea y de la volemia.

El equilibrio y sus problemas

Después del aparato cardiovascular, el aparato vestibular es el segundo sistema modificado por la ausencia de gravedad.

La actividad motriz del hombre depende de programas de automatismos en parte innatos, de naturaleza estructural, en parte funcionales y progresivamente adquiridos, situados en los

La ausencia de gravedad provoca modificaciones a nivel del órgano del equilibrio.

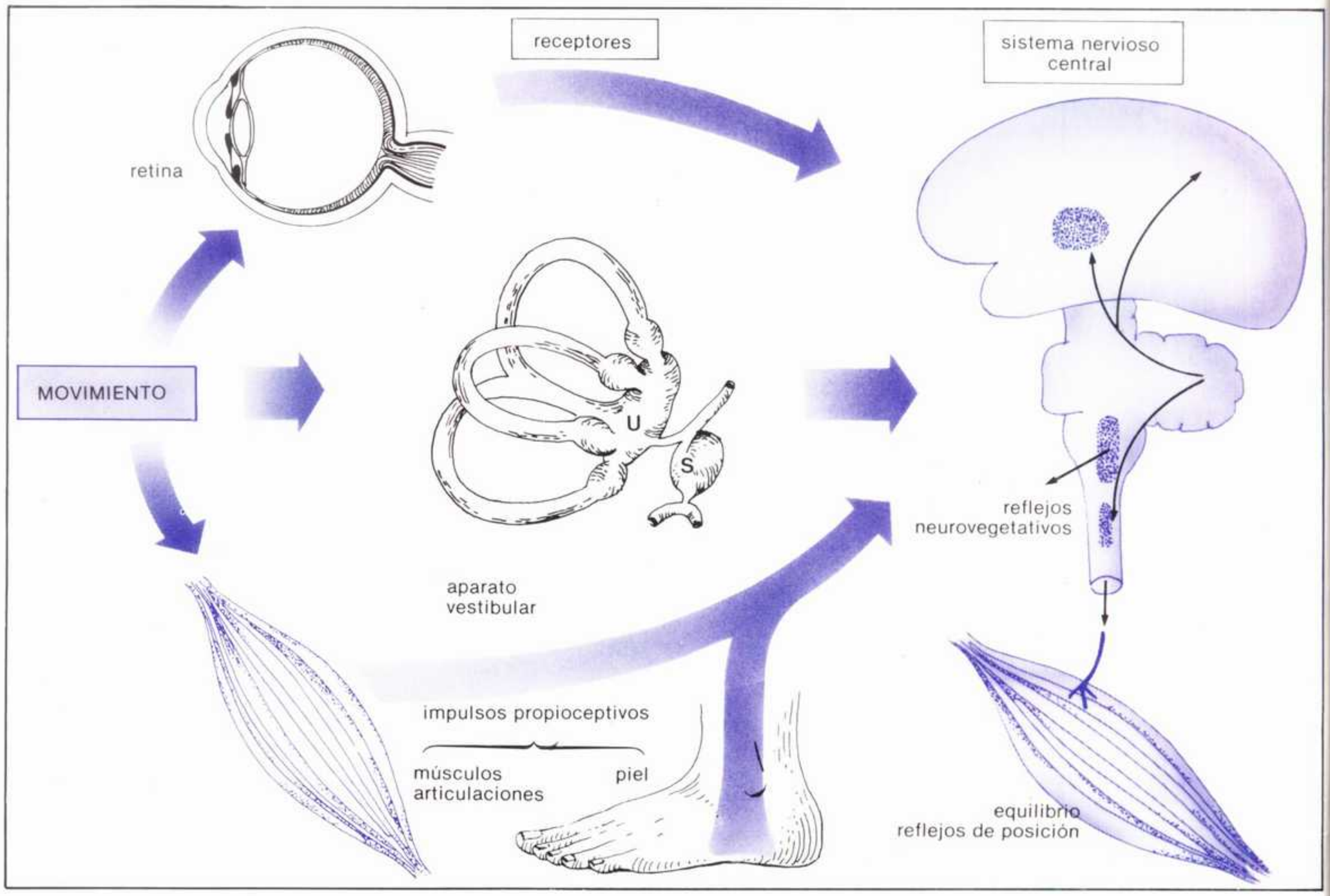


Figura 4. **Cuando nos desplazamos, el mantenimiento del equilibrio depende de señales que provienen del aparato vestibular (situado en el oido interno), del ojo, de los músculos, de las articulaciones y de la piel; se trata de los impulsos propioceptivos. En estado de ingravidez, una parte del aparato vestibular —el aparato otolitico formado por el utrículo (u) y el sáculo (s)— así como las terminaciones nerviosas de la piel no envian al sistema nervioso central las informaciones habituales. La consecuencia de esta situación es una sensación de desequilibrio y la aparición de los sintomas clásicos del mareo.**

centros nerviosos. Pero esta actividad motriz depende igualmente de señales sensoriales procedentes de distintos órganos: aparato vestibular, ojo, así como de las terminaciones nerviosas de la piel, de los tendones, de los músculos y de las articulaciones, el conjunto de los cuales forma el aparato de la propiocepción (fig. 4).

La puesta en marcha de estos programas y de estas informaciones permite al organismo controlar su actividad motriz: el mantenimiento de nuestro equilibrio, de nuestra postura, la precisión de nuestros gestos dependen de ello. De entre todos estos aparatos, dos sufren directamente la influencia de la gravedad: ciertos elementos de la propiorrecepción —sobre todo las terminaciones nerviosas de las extremidades que sufren la presión del peso del cuerpo— y en especial del aparato otolítico. Este último constituye, junto con los canales semicirculares, el aparato vestibular situado en el oído interno. El aparato otolítico está formado por dos pequeños órganos huecos, utrículo y sáculo, revestidos por un epitelio. Éste presenta engrosamientos en dos regiones, formando las máculas a cuyo nivel el epitelio sensorial contiene unas células cuyos polos apicales poseen un revestimiento de cilios empotrados en la membrana otolítica. Unos pequeños cristales de carbonato de calcio, u otolitos, recubren esta membrana.

Cuando se realiza un movimiento de inclinación de la cabeza, estos otolitos se desplazan por efecto de la gravedad provocando el deslizamiento de la membrana otolítica y la inclinación de los cilios. Las células son estimuladas, y una serie de descargas de impulso nervioso se dirigen hacia el sistema nervioso central (fig. 5). En la ingravidez, la visión y los receptores musculares continúan funcionando normalmente. Por el contrario, los gravicaptadores situados a nivel de las articulaciones y de la piel, y más aún el aparato otolítico, ven disminuir sus actividades: para este último, en efecto, el cizallamiento de los cilios sensoriales, en posición vertical o después de los cambios de posición de la cabeza, no se produce. Por contra, los otolitos se desplazan por las brutales aceleraciones ligadas a los movimientos del astronauta. En estas condiciones, los centros nerviosos superiores no reciben las señales conforme a los programas habituales y esta situación conflictiva será el origen de diversos problemas:[5] sensación de flotación, de báscula o de rotación después de movimientos bruscos de la cabeza; disminución de la actividad motriz, seguida de una cierta torpeza para localizar la posición de los objetos en ausencia de percepción visual; aparición de los signos clásicos del mal de los viajes: palidez, náuseas, vértigos, vómitos... Estos problemas son las más de las veces efímeros: aparecen el primer día y desaparecen en general hacia el tercero o cuarto, demostrando así las notables posibilidades de adaptación del aparato del equilibrio ante la ingravidez. Hay que añadir que los problemas vestibulares, y especialmente una pérdida del equilibrio, pueden aparecer después del retorno a la tierra, con desaparición consiguiente a los pocos días.

En el animal se han observado problemas vestibulares, así como la posibilidad de adaptación en los vuelos espaciales. Por ejemplo, los peces adultos

(5) A. Graybiel, *Aviation, Space and Environ. Medicine, 51*, 814, 1980.

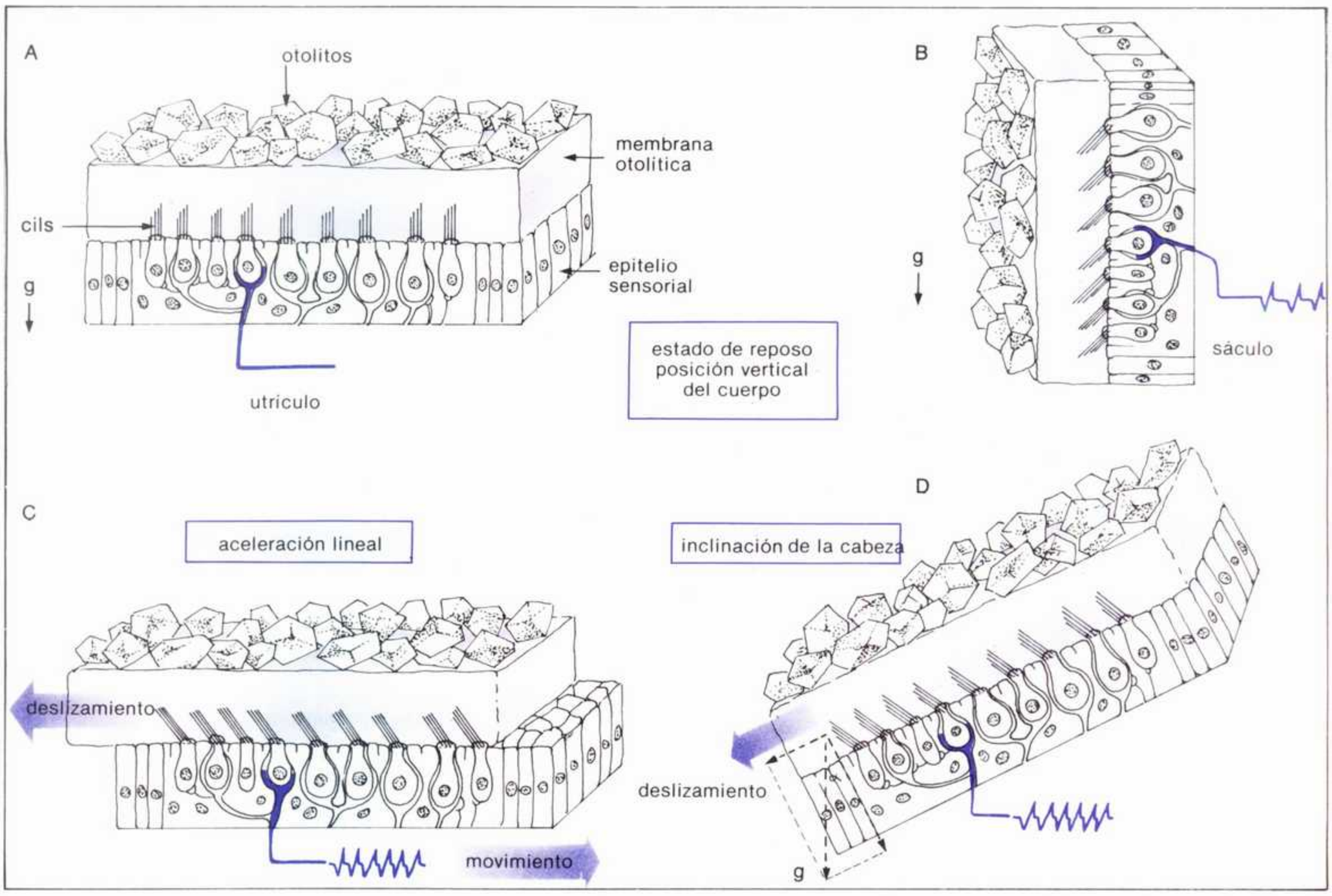


Figura 5. **La ausencia de gravedad provoca modificaciones a nivel del aparato vestibular, órgano del equilibrio situado en el oído interno. Está constituido por los canales semicirculares y por el aparato otolítico, formado éste por dos pequeños órganos huecos, el utrículo y el sáculo, revestidos de un epitelio. Éste forma unos engrosamientos en dos regiones, formando las máculas a este nivel, el epitelio sensorial contiene células en cuyo polo apical se encuentra un revestimiento de cilios empotrados en una membrana. Sobre esta membrana, o membrana otolítica, se apoyan una serie de minúsculos cristales de carbonato de calcio, los otolitos.**
En un sujeto situado en posición vertical, el epitelio sensorial se dispone horizontalmente a nivel del utrículo (A) **y verticalmente a nivel del sáculo** (B). **Debido a su peso, los otolitos y la membrana otolítica del sáculo se realizan en el sentido de la gravedad, provocando una inclinación de los cilios. Este movimiento de cizallamiento provoca la estimulación de las terminaciones nerviosas del nervio vestibular que envuelven las células sensoriales de la mácula, lo cual provoca una salida continua de impulsos nerviosos hacia los centros nerviosos superiores. Por otra parte, el aparato otolítico es sensible a las aceleraciones lineales: igual que un carro situado sobre una pista, la membrana otolitica se desplazará en el sentido inverso al movimiento de la cabeza. Este desplazamiento tangencial provocará un nuevo cizallamiento de los cilios, provocando la formación de nuevos impulsos nerviosos** (C). **Por el mismo mecanismo, el aparato otolítico del utrículo, donde el epitelio sensorial está dispuesto horizontalmente en el individuo en posición vertical, será estimulado durante los movimientos de inclinación de la cabeza** (D). **Se ve pues, que la gravedad sirve en este caso de vector referencial, y que el aparato otolítico, refiriéndose a ella, informa a los centros nerviosos y provoca las respuestas musculares necesarias para el mantenimiento de nuestro equilibrio. Junto con el aparato vestibular en general cuidan del control del desplazamiento de los ojos, y por consiguiente de la mirada, por medio de los músculos del ojo.**
En la ingravidez, el cizallamiento de los cilios sensoriales, en posición vertical o durante los cambios de posición de la cabeza, no se produce. Por el contrario, los otolitos si se desplazan durante las brutales aceleraciones asociadas a los movimientos del astronauta. En estas condiciones, los centros nerviosos superiores no reciben las señales habituales, situación que da origen a diversos problemas.

colocados a bordo del *Skylab* no nadaban normalmente sino que efectuaban frecuentes movimientos rotatorios[6] («looping»). En cambio, los jóvenes alevines nacidos en la ingravidez se desplazaban normalmente. Vale la pena señalar también una experiencia original, imaginada por una joven norteamericana: dos arañas situadas a bordo del *Skylab* pudieron tejer sus telas en ausencia de gravedad. Una primera fue realizada de forma muy irregular, pero más tarde, las nuevas telas presentaron su aspecto geométrico habitual, probando así la capacidad de utilizar la gravedad como vector de referencia y la posibilidad de adaptación a las nuevas condiciones ambientales.

Todos estos hechos explican el interés del espacio para el estudio de la fisiología vestibular: suprimiendo una gran parte del papel desempeñado por el aparato otolítico, la ingravidez exagera la importancia de los otros sistemas, como la visión, que intervienen igualmente en la función del equilibrio. El espacio constituye, pues, un nuevo medio de estudio de las correlaciones entre el ojo y el aparato vestibular. Esta conclusión justifica el desarrollo de nuevos equipos, como el SLED, una especie de carro móvil que será utilizado en el *Spacelab* y que permitirá estudiar las respuestas dinámicas del aparato vestibular en el hombre sometido a brutales aceleraciones.

¡Los astronautas crecen!

La gravedad actúa igualmente sobre nuestro esqueleto y nuestro sistema muscular, especialmente cuando estamos en posición vertical. El mantenimiento de la posición vertical está asegurado por el esqueleto y, más concretamente, por la columna vertebral, por los huesos de los miembros inferiores y de la cintura pelviana, así como por los

(6) R. Von Baumgarten y cols., *Aviation, Space and Environ. Medicine, 46*, 902, 1975.

Ciertas reacciones del individuo pueden ser resultado de modificaciones a escala celular.

músculos antigravitacionales, músculos paravertebrales y extensores de las piernas. La gravedad actúa igualmente a nivel de los miembros superiores encargados de asir o llevar los objetos equilibradamente.

En la ingravidez, la desaparición del peso del cuerpo y de los objetos conduce a una puesta en reposo parcial del aparato locomotor. Las consecuencias de esta nueva situación serán de distintos órdenes. Los discos invertebrales, normalmente comprimidos por el peso del cuerpo pueden distenderse, lo que explica el crecimiento de la talla de los astronautas. Del orden de 2 a 4 cm, este fenómeno desaparece después del regreso a tierra. Los huesos pierden una parte de su calcio, desmineralización que se objetiva por una disminución de la densidad ósea observada por radiografia después del vuelo; se acompaña de una atrofia de las trabéculas del tejido óseo esponjoso, como han desmotrado los trabajos de Yagodovsky y su equipo realizados sobre ratas al cabo de una misión espacial de 22 días de duración.

Por último, se observa un aumento del orden del 50 % en la excreción de calcio en la orina, excreción que acompaña la pérdida del calcio óseo. Esta excreción aparece muy pronto y se estabiliza hacia el día treinta (vuelo *Skylab*). Teniendo en cuenta el aporte alimentario, la pérdida producida en las misiones *Skylab* es de, al menos, unos 100 mg por día (recordemos que la reserva de calcio total en el hombre adulto es de aproximadamente 1 kg).

Esta desmineralización, que puede parecerse a la osteoporosis de los ancianos, varía enormemente según los sujetos y depende de la duración del vuelo: ausente en la misión *Skylab* de 28 días, aparece en las misiones de 59 y 84 días.[7] Sin embargo, estudios recientes realizados después de una estancia de 175 días en el *Saliut 6* no han revelado sino una desmineralización variable, de un 2 a un 8 %. Aunque estas pérdidas de calcio disminuyen con la práctica de ejercicios físicos asociados a dietas ricas en aquel elemento, también hay que decir que éstas no desaparecen jamás enteramente.

¿Qué mecanismo puede producir este proceso de desmineralización? En la rata, unos investigadores soviéticos[8] han observado, mediante microscopia electrónica, un agotamiento de los bordes de las cavidades donde se alojan las células óseas. Estas imágenes parecen corresponder a fenómenos de osteólisis, es decir, a una reabsorción exagerada de la sustancia ósea. Soviéticos y norteamericanos han realizado conjuntamente nuevos estudios en ratas situadas a bordo de los biosatélites *Cosmos*[9] 782, 936 y 1129 (fig. 6). Efectuados justo después del vuelo o 26 días después han demostrado un bloqueo del crecimiento óseo en espesor, sin que se observe detención del crecimiento en longitud. El cese del proceso de osificación (osteogénesis) se produjo al undécimo día de vuelo. Paradójicamente, el restablecimiento de una gravedad 1 g con ayuda de una centrifugadora no pudo corregir los efectos del vuelo espacial; sin embargo, sí permitió atenuar la disminución de la resistencia

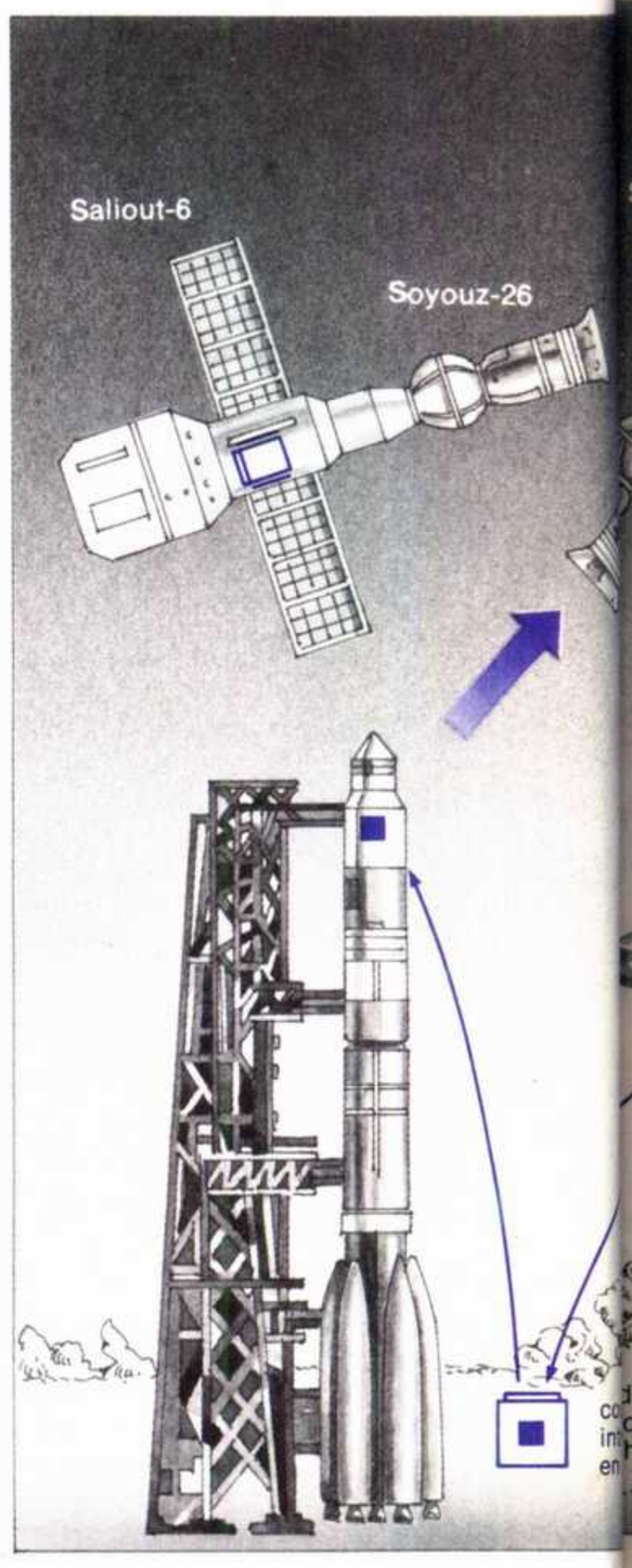


Figura 7. **Una experiencia francosoviética *Cytos* ha permitido estudiar la influencia de la ingravidez a nivel celular. Para ello se prepararon en el Instituto médico-biológico de Moscú unos cultivos de paramecios. Éstos fueron transportados a baja temperatura hasta el área de lanzamiento y hasta el acoplamiento de la nave *Soyuz 27* con la estación orbital *Saliut 6*. Los cultivos fueron transferidos a esta estación y situados en el interior de una incubadora mantenida a 25 °C. En estas condiciones, las células pudieron dividirse y los cultivos fueron fijados cada doce horas durante los cuatro primeros días de vuelo. Una experiencia control se realizó en tierra con igual programa. Las cajas C son los contenedores de los cultivos.**

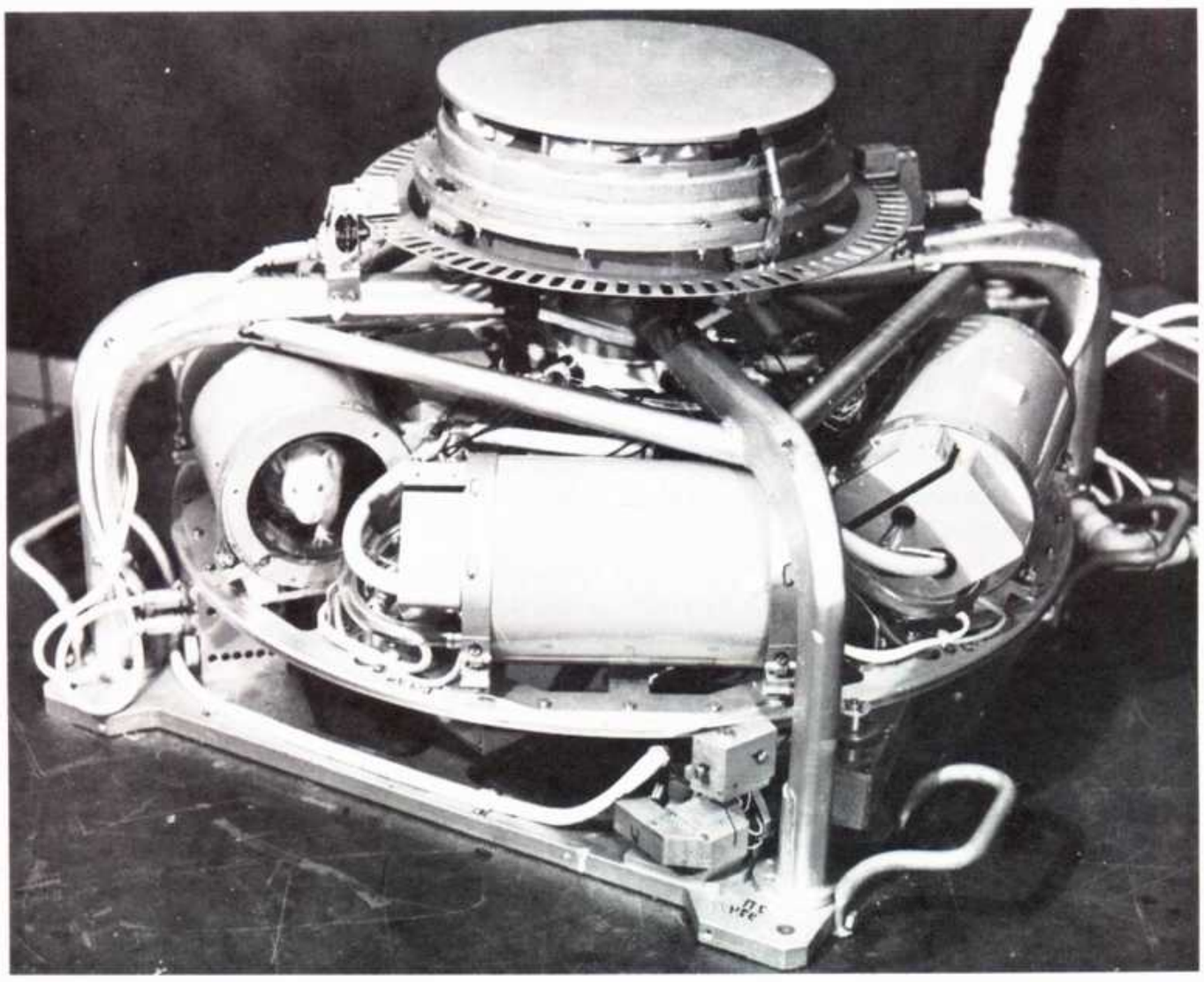
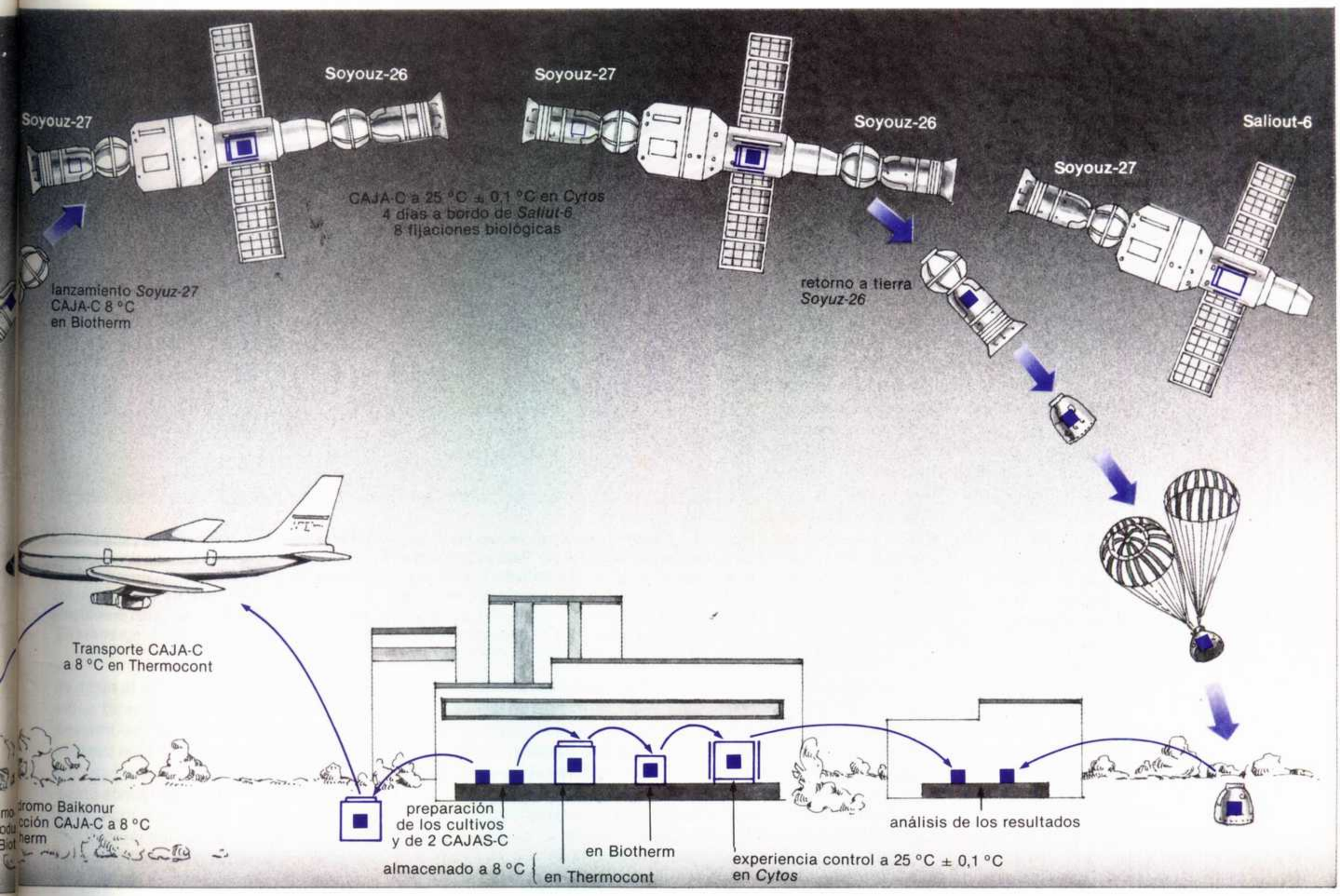


Figura 6. **Con el fin de estudiar ciertos efectos de la ingravidez, se han realizado experiencias con la rata a bordo de los biosatélites soviéticos *Cosmos*. Las ratas embarcadas se colocaban en una centrifugadora que permitia restablecer una gravedad semejante a la normal durante el vuelo espacial. Los efectos de la ingravidez podian ser precisados de este modo por comparación con otras ratas situadas en jaulas al lado de la centrifugadora.** (Foto del Instituto médico-biológico de Moscú.)

(7) J. Vigel, M. Whittle, *Aviation, Space and Environ. Medicine, 47,* 396, 1976.
(8) V. Yagodovsky y cols., *Aviation, Space and Environ. Medicine, 47,* 734, 1976.
(9) E. Holton, D. Baylink, Final reports of U.S. experiments flown on the Soviet satellite Cosmos 782. *Rosenzweig and Souza edit., NASA 78525,* 321, 1978.



mecánica que se produce en las ratas sometidas a la influencia de la microgravedad.

Todos estos hechos conducen a pensar que la desmineralización ósea de los astronautas está probablemente ligada a la vez a una osteólisis exagerada y a una disminución de la osteogénesis. Ello produce una perturbación de los mecanismos responsables de la reparación ósea, activos normalmente en el adulto y que conducen a una renovación constante de la sustancia ósea. Este recambio depende no solamente de la influencia directa de la gravedad sobre el esqueleto sino también de acciones hormonales, en concreto, de la parathormona y de la calcitonina. En el espacio, estas hormonas no parecen estar modificadas, según lo indican las mediciones sanguíneas realizadas durante las misiones *Skylab*. Parece, por el contrario, más verosímil que las alteraciones óseas en la ingravidez dependan, a nivel hormonal, de una hipersecreción de glucocorticoides por las suprarrenales. En las ratas sometidas a un vuelo espacial, las glándulas suprarrenales están efectivamente hipertrofiadas, y se sabe que la cortisona puede oponerse a la formación del tejido óseo. Estos problemas óseos plantean problemas serios en los viajes de larga duración por el espacio: una desmineralización excesiva incrementa el riesgo de determinar una fragilidad ósea que puede conducir a fracturas. Por otra parte, una movilización exagerada del calcio podría dar lugar a focos de calcificación fuera de los huesos o ser causa de la formación de cálculos renales ¡y no es difícil imaginarse las consecuencias de una litiasis renal en el desarrollo de una misión de larga duración!

Aparte del esqueleto, el aparato muscular es también modificado por la ingravidez; se atrofia, como revelan los estudios antropométricos realizados en las piernas y muslos de los astronautas de las primeras misiones tripuladas. Esta disminución de la musculatura se traduce, a nivel bioquímico, en una degradación de las proteínas musculares que provoca importantes pérdidas de nitrógeno. También se han observado alteraciones infraestructurales de las fibras musculares estriadas y de su inervación (placas motoras). Estos fenómenos no son siempre obligatorios. La práctica repetida y prolongada de ejercicios físicos permite evitarlos: así, los astronautas soviéticos no presentaron disminución de su masa muscular después de una estancia de 175 días en la estación *Saliut*. Hay que añadir que algunos fenómenos parecidos podrían afectar a la larga a la musculatura cardiaca; en los astronautas de la misión *Skylab* se detectó una reducción del 1 % de perfil cardiaco. Éste es un problema preocupante para los vuelos espaciales prolongados.

Respeto del fin de semana

Acabamos de ver los efectos de la ingravidez sobre los tres aparatos que ya en la Tierra son sensibles a la gravedad. ¿Qué les sucede a los otros sistemas de nuestro organismo?

Adaptación del hombre: aún se plantean numerosas cuestiones para los viajes de larga duración.

Si bien la respiración, la digestión y ciertas funciones sensoriales, como la audición, parecen normales, diríase que, por el contrario, la visión puede estar modificada en el sentido de mejorar. Esto es así hasta el punto de que en los primeros vuelos tripulados Cooper citó que podía observar el movimiento de vehículos de los que se hallaba a una distancia de 80 km. De una manera general, son los objetos de forma lineal los que se perciben mejor. Esta aparente mejora de la agudeza visual podría venir de las condiciones particulares de observación «por encima» de la atmósfera terrestre. Por otra parte, los astronautas situados en la oscuridad experimentan curiosas sensaciones en forma de líneas o de estrellas, en general de color blanco. Pero este fenómeno no depende de la gravedad: está relacionado con el paso de las partículas de los rayos cósmicos a través de la retina.

El sueño no se modifica. Durante la larga estancia en el *Saliut 6,* los cosmonautas dormían normalmente de 7 a 8 horas por día. El hecho de no estar sometidos al ritmo cotidiano de la alternancia del día y la noche no tiene consecuencias sobre el ritmo del sueño. Hay que añadir que se realizan esfuerzos para respetar el máximo posible los hábitos de la vida, incluso el clásico reposo semanal del fin de semana.

A nivel hematológico, los médicos norteamericanos soviéticos han observado siempre, después de la recuperación, una disminución del orden del 10 al 15 % de la masa globular,[10] es decir, del número total de hematíes del cuerpo, acompañada de una reducción del 20-30 % en el número de reticulocitos, es decir, de los hematíes que no han alcanzado su maduración. Esta reducción de la masa globular parece ligada en gran parte a una destrucción elevada de los hematíes viejos en el bazo. Este fenómeno de hiperhemólisis también ha sido puesto de manifiesto[11] en las ratas: después del vuelo del *Cosmos 782,* la hemólisis era tres veces más importante que en las ratas testigo sometidas al mismo tipo de confinamiento. Esta respuesta está bien relacionada con la ausencia de gravedad, ya que la hiperhemólisis desaparece en parte en las ratas colocadas en una centrifugadora durante el vuelo.

A nivel endocrinológico y metabólico, las determinaciones de los niveles hormonales realizados antes y después de los vuelos espaciales, o también durante el vuelo, como en el caso de las misiones *Skylab,* han puesto de manifiesto tanto en el hombre como en los animales un aumento de la actividad de ciertas glándulas (hipófisis, corticosuprarrenal, y quizá también tiroides y glándulas genitales). Por contra, no han

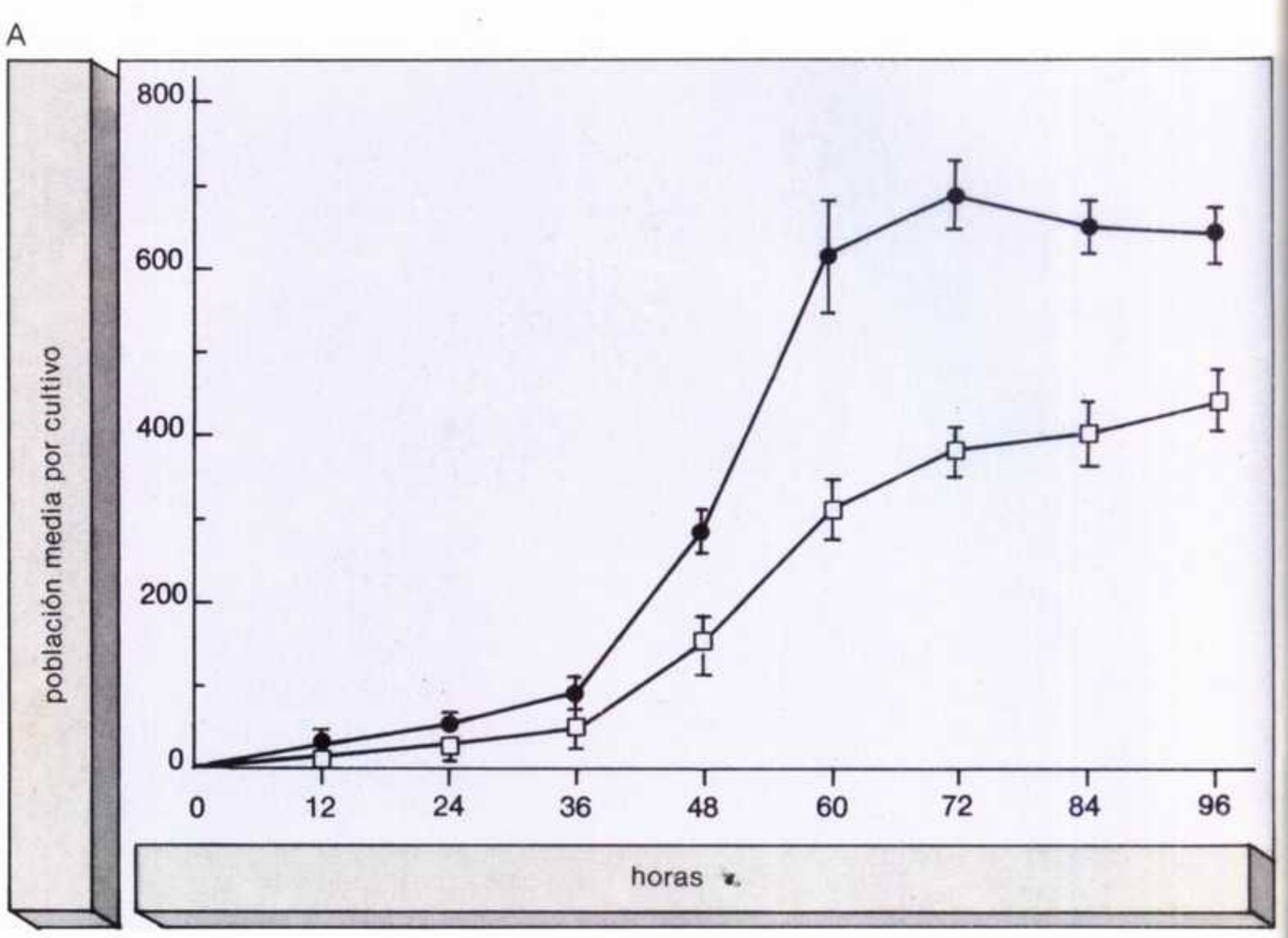


Figura 8. **La experiencia *Cytos* (véase fig. 7) ha permitido descubrir una importante estimulación de la proliferación celular** (A). **Pero este fenómeno parece relacionado con la radiación cósmica, ya que también se ha detectado durante vuelos en globos estratosféricos. Por contra, las modificaciones de volumen, del contenido en agua y de elementos minerales de los paramecios pueden ser atribuidas a la ingravidez. En las fotos puede observarse un paramecio procedente de los cultivos control** (B) **y otro procedente de cultivos desarrollados y fijados en ingravidez** (C). (Foto del laboratorio de biología médica, Toulouse.)

podido ser demostradas mediante las mediciones de los niveles de adrenalina y noradrenalina perturbaciones de la actividad de la médula suprarrenal ligadas al esfuerzo emocional aunque el examen histológico de las glándulas suprarrenales de las ratas embarcadas en las naves *Cosmos* lo demuestra en grado pronunciado.

Acabaremos este estudio de los efectos de la ingravidez señalando que, a nivel bacteriológico e inmunológico, se ha observado repetidas veces una disminución de la flora bacteriana anaerobia (que se desarrolla en ausencia de oxígeno) y un incremento de la flora aerobia (en presencia de oxígeno). También se ha descrito una mayor frecuencia de cepas resistentes a los antibióticos. Por otra parte, después de los estudios de Mandel y Balish[12] realizados sobre ratas embarcadas a bordo de la nave *Cosmos 782,* parece ser que hay un incremento de los procesos de defensa inmunitaria. Pero es necesario tener en cuenta que este problema aún está por resolver, ya que los investigadores soviéticos han observado, por el contrario, una atrofia del bazo y del timo, es decir, una involución de los órganos implicados en dicha función, en ratas sometidas a un vuelo de 19 días.

¿Qué sucede a escala celular?

Algunas reacciones observadas a nivel de órganos o de individuos pueden ser resultado de modificaciones producidas a nivel celular. Ésta es la razón de que la influencia de la ingravidez sobre la célula sea un problema que interesa no solamente a la biología sino también a la fisiología. Por tanto, los estudios efectuados sobre los organismos unicelulares deberían poner de manifiesto más fácilmente los efectos de la gravedad que las investigaciones realizadas sobre organismos evolucionados provistos de sistemas reguladores complejos y numerosos.

Parece poco probable que exista una influencia de la gravedad sobre la sustancia fundamental de la célula (hialoplasma o citosol), gel coloidal rico en agua y que contiene moléculas minerales y orgánicas muy diversas. Efectivamente, a nivel molecular, las fuerzas de la gravedad parecen despreciables frente a las fuerzas eléctricas y químicas que se ejercen entre las moléculas o entre los distintos átomos de una misma molécula.

Por el contrario, a nivel de los orgánulos celulares, la hipótesis de una influencia de la gravedad es más probable; algunos como el núcleo o las mitocondrias son, en efecto, más densos que el hialoplasma; presentan, pues, tendencia a sedimentarse en el interior de la célula:[13] Esta sedimentación se puede observar en la célula muerta, pero no se produce en la célula viva. El mantenimiento de la organización estructural de la célula depende de muchos factores. En particular, gracias al progreso de la microscopia electróni-

(10) S. Kimzey, *J. Am. Med. Wom. Assoc., 30,* 218, 1975.
(11) H. Leon, S. Landaw, *NASA 78526,* 60, 1978.
(12) A. Mandel, E. Balish, *NASA 78525,* 207, 1978.
(13) P. Todd, Gravity and the cell: intracellular structures and stockes sedimentation, *NASA TM-X* 103, 1977.

B

C

ca, hoy se sabe que el mantenimiento de la arquitectura celular está relacionado con la existencia de una serie de filamentos y de microtúbulos que unen a los distintos organelos entre ellos y también con la membrana periférica. Parece lógico pensar que la gravedad puede, al menos en ciertos casos, dirigir la elaboración de este citoesqueleto y, por lo tanto, la organización tridimensional de la célula. Los estudios teóricos de Pollard, Kondo y Todd defienden la idea de una influencia de la gravedad sobre la célula.

A pesar de estos datos, hay que reconocer que los resultados de las experiencias espaciales realizadas hasta hoy no están siempre en favor de esta opinión. Montgomery y colaboradores[14] han estudiado el comportamiento de fibroblatos (células del tejido conjuntivo) pulmonares embrionarios de origen humano cultivados durante tres a once días a bordo del *Skylab:* en este caso, el poder de multiplicación, la morfología estudiada en vuelo con la ayuda de un microscopio de contraste de fases y en microscopia electrónica después del vuelo, así como el contenido en ADN de los núcleos no presentaron modificaciones. Otros resultados igualmente negativos han sido descritos en las células de hámster,[15] así como en cultivos de células de zanahoria realizados a bordo del *Cosmos 782.* El conjunto de los resultados de estas experiencias no puede ser considerado negativo: el contenido en glucosa de los medios de cultivo en vuelo, en la experiencia de Montgomery, era superior (93 mg %), al de los medios de la experiencia control (75 mg %), lo que parece demostrar que las reservas energéticas de las células cultivadas en ausencia de gravedad son más débiles que las de las células cultivadas en el laboratorio. Más recientemente, unos investigadores de la universidad de Colorado han constatado[16] en una bacteria *Agrobacterium,* responsable de la aparición de tumores en los vegetales, modificaciones de ciertas actividades enzimáticas. Por último, las recientes experiencias francosoviéticas *Cytos* abogan igualmente en favor de una influencia de la ingravidez a nivel celular. Estas experiencias[17] se han realizado a bordo de la estación *Saliut 6,* con un protozoo, el paramecio (fig. 7), y habían de permitirnos poner de manifiesto una influencia importante del vuelo espacial. Una primera respuesta ha consistido en una estimulación particularmente marcada de la multiplicación celular; pero este fenómeno no puede ser debido a la ingravidez, ya que también lo hemos observado, al menos en parte, en experiencias efectuadas en globos estratosféricos (fig. 8); a la altitud máxima de éstos, 40 000 metros, la fuerza de la gravedad es normal, pero la radiación cósmica es más intensa que a nivel del suelo. Las otras respuestas de las experiencias *Cytos* parecen, por contra, estar relacionadas con la ausencia de gravedad: se trata de un incremento del volumen celular seguido de un aumento del contenido de agua en las células y de una fuga de elementos minerales tales como el calcio, el fósforo, el potasio y el magnesio;[18] en este caso, las investigaciones efectuadas por Tixador han demostrado que estas respuestas están totalmente ligadas a la ausencia de gravedad, pues no han sido observadas en un vuelo en globo realizado entre Sicilia y España. Merece la pena añadir que no está exento de interés el relacionar esta fuga de calcio con hiperexcreción cálcica observada en los astronautas.

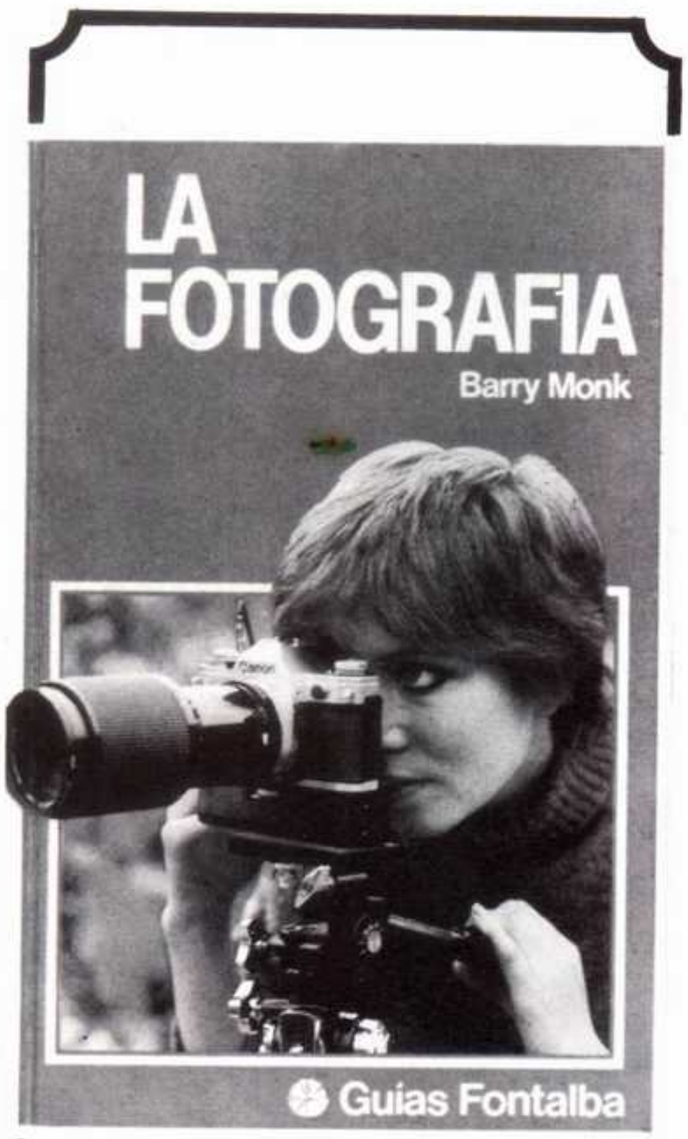
Efectos sobre el desarrollo

Todos los hechos que acabamos de describir nos demuestran que la ingravidez puede actuar a nivel de organismos o de células. En ambos casos se trataba de organismos adultos. ¿Sucederá lo mismo en los organismos en vías de crecimiento? ¿Existe, dicho de otra manera, una influencia de la gravedad sobre la biología del desarrollo y, de una manera más general, sobre la evolución de las especies?

Conviene recordar que la gravedad es el único factor del medio que se ha mantenido constante desde el origen de la Tierra. En este sentido, representa un factor determinante en la evolución de los seres vivos: la forma general de las especies, el desarrollo de su esqueleto aparecen como adaptaciones a la gravedad. Esta noción ya fue señalada por Galileo en 1638; demostró que era lógico que los huesos que soportan el peso del cuerpo fueran relativamente más gruesos en las especies de mayor talla que en las pequeñas; el volumen, y en consecuencia, el peso varían según el cubo de la longitud del cuerpo. La gravedad ha sido responsable pues, en parte, durante la evolución, de las modificaciones sucesivas de la morfología de las piezas que componen el esqueleto y de la forma general de los seres vivos. Su papel en la evolución de las especies explica por lo tanto el interés de poder estudiar, en microgravedad y durante largos períodos de tiempo, el comportamiento de especies cuidadosamente elegidas. ¿Se podrá entonces, actuando sobre este factor externo, es decir,

(14) P. Montgomery y cols., *In vitro, 14,* 165, 1978.
(15) F. Souchkov, S. Roudneva, Biological Research in «Cosmos» Biosatellites, Scienc., edit. Moscú, p. 199, 1979.
(16) S. Kleinschuster, K. Mahon, *NASA, 78526,* 58, 1978.
(17) H. Planel, R. Tixador, Y. Nefedov y cols., *Adv. Space Research, 1,* 95, 1981.
(18) R. Tixador y cols., *Biochimica et Biophysica Acta, 649,* 175, 1981.

Los estudios efectuados en el espacio pueden contribuir al progreso de la medicina corriente.



La Guía Fontalba **LA FOTOGRAFIA** constituye un libro de gran utilidad, no sólo para el principiante, sino para el ya iniciado en el mundo fotográfico. Abarca y enseña desde los primeros rudimentos hasta las técnicas y procesos más depurados de la cámara y el laboratorio. Es un poderoso auxiliar científico para uso del etólogo, biólogo, naturalista, etc., así como para cualquier investigador que precise ilustraciones fidedignas en sus trabajos.

Este libro ayudará a sacar al lector el mayor partido posible, ya sea con una cámara y un laboratorio simples o mediante éstos u otros medios más sofisticados.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P.: 725 pts.

Pidalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

VALENCIA, 359 · 6.º 1.ª
BARCELONA-9 (ESPAÑA)

sobre un factor epigénico, modificar la programación del desarrollo inscrito en el genoma del huevo y modificar, así, ciertos caracteres de la especie? Si este papel de la gravedad es evidentemente de carácter hipotético, no es éste el caso en lo que concierne a la ontogénesis, es decir al desarrollo del individuo. Numerosos trabajos han demostrado perfectamente la influencia de la gravedad, especialmente en el desarrollo del huevo de los batracios y de los pájaros. Sin entrar en detalles, diremos que la gravedad interviene desde las primeras horas del desarrollo determinando la orientación del futuro plano de simetría bilateral del embrión y, más tarde, del organismo. ¿Ocurre lo mismo en las otras especies, y se puede encontrar una respuesta a esta pregunta en las experiencias espaciales realizadas hasta hoy? La respuesta es aún negativa, pero hay que reconocer que el número de investigaciones efectuadas hasta ahora es aún muy limitado. La ingravidez no modifica aparentemente el desarrollo del huevo del pez fundulus, ni el de la drosófila, tal como han demostrado los recientes estudios de Miquel y sus colaboradores[19] a bordo del biosatélite *Cosmos 782*. La organogénesis del aparato vestibular tampoco es modificada, aunque la fisiología de este órgano esté estrechamente ligada a la gravedad. Los resultados negativos de las experiencias espaciales pueden comprenderse: es necesario recordar que las experiencias de centrifugación o en clinostatos realizadas sobre los huevos de batracios han demostrado que el plano de simetría se establece muy pronto durante el desarrollo embrionario. En otros términos, los resultados positivos solamente pueden ser obtenidos si la fecundación de los huevos se efectúa durante el vuelo espacial, condición que hasta el momento no ha sido observada sistemáticamente.

La desorientación de los vegetales

Finalmente, no puede hablarse de la biología en la ingravidez sin mencionar la influencia de la gravedad sobre los vegetales. Se sabe, desde las experiencias clásicas de Knight (1806) con clinostatos, que la gravedad determina la orientación de los diferentes órganos de una planta: esta sensibilidad a la gravedad constituye el geotropismo. Pero, la gravedad actúa también sobre el crecimiento, es decir, sobre la morfogénesis de las plantas; se habla entonces de gravimorfismo. Esta acción se produce mediante ciertas células gravisensibles, o estatocitos, que contienen pequeñas formaciones, o amiloplastos, más densos que el citoplasma. Estos últimos se desplazan bajo la influencia de la gravedad y ejercen una presión sobre ciertos dispositivos de la membrana, provocando especialmente una síntesis o una liberación de auxina, es decir de la hormona responsable del crecimiento. Difundiéndose localmente, la auxina provoca el crecimiento de ciertas partes de la planta. En la ingravidez, los amiloplastos flotan en el citoplasma y los gravirreceptores están en estado de reposo. La hormona del crecimiento puede repartirse entonces uniformemente en los órganos de la planta: de ello se derivan importantes modificaciones de su orientación, tal como han demostrado las observaciones realizadas sobre plantas del pimiento situadas a bordo del biosatélite II norteamericano. Aunque el vuelo no fue sino de 48 horas, pudo apreciarse una rápida desorientación de los tallos y de las hojas, es interesante reparar en que esta respuesta, así como ciertas modificaciones de orden bioquímico persistieron durante más tiempo en las plantas de vuelo que en las plantas control sometidas a rotación, durante el mismo período de tiempo, en un clinostato.

En conclusión puede decirse que los vuelos espaciales ya realizados han permitido descubrir una serie de respuestas ligadas a la ingravidez; también han permitido poner de manifiesto las extraordinarias facultades de adaptación del organismo humano a este nuevo ambiente. Numerosas preguntas quedan aún por responder: los límites de esta adaptación, así como sus mecanismos siguen siendo en gran parte desconocidos. Independientemente de su interés práctico y fundamental, los estudios efectuados en el espacio pueden contribuir al progreso de la medicina corriente. Por ejemplo, es probable que las separaciones electroforéticas efectuadas en ingravidez puedan conducir a una mejor purificación de las vacunas. ■

(19) J. Miquel, P. Philpott y cols., *NASA 78525*, 382, 1978.

Para más información:

■ E. Evrard. *Précis de Médecine Aéronautique et Spatiale.* Maloine ed. 1975.

■ H. Bjursted, *Biology and medicine in space, ESA.* Br 01. - Agencia Espacial Europea - París 1979.

■ M. Calvin y O. Gazenko, *Foundations of space biology and medicine,* NASA special Publication, Washington DC 1975.

■ R. Johnston y L. Dietlein, *Biomedical results from Skylab,* NASA. SP. 377, 1977.

■ G. Taylor, *Cell biology experiments conducted in space, Bioscience, 27,* 102, 1977.

COLECCIONE

MUNDO CIENTIFICO

A LA VENTA LAS TAPAS

Deseo que me envíen:

☐ las TAPAS ..... 650 ptas.*

Efectuaré el pago mediante:

☐ contrarrembolso más gastos de envío

☐ cheque adjunto

Nombre _____

Profesión _____ Tel. _____

Domicilio _____

Población _____ D.P. ____

Provincia _____ Firma

*Precio válido sólo para España.

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
Editorial Fontalba,
Valencia, 359, 6.º
Barcelona-9 (España)
Tel. (93) 258 55 07/08

Con sistema especial de varillas metálicas que le permite *encuadernar usted mismo.*

Mantenga *en orden y debidamente protegida* su revista de cada mes.

Cada ejemplar puede extraerse del volumen cuando le convenga, sin sufrir deterioro.

El ácido úrico, responsable de la gota, puede que sea eficaz contra el envejecimiento y en la prevención del cáncer.

Los elixires de larga vida

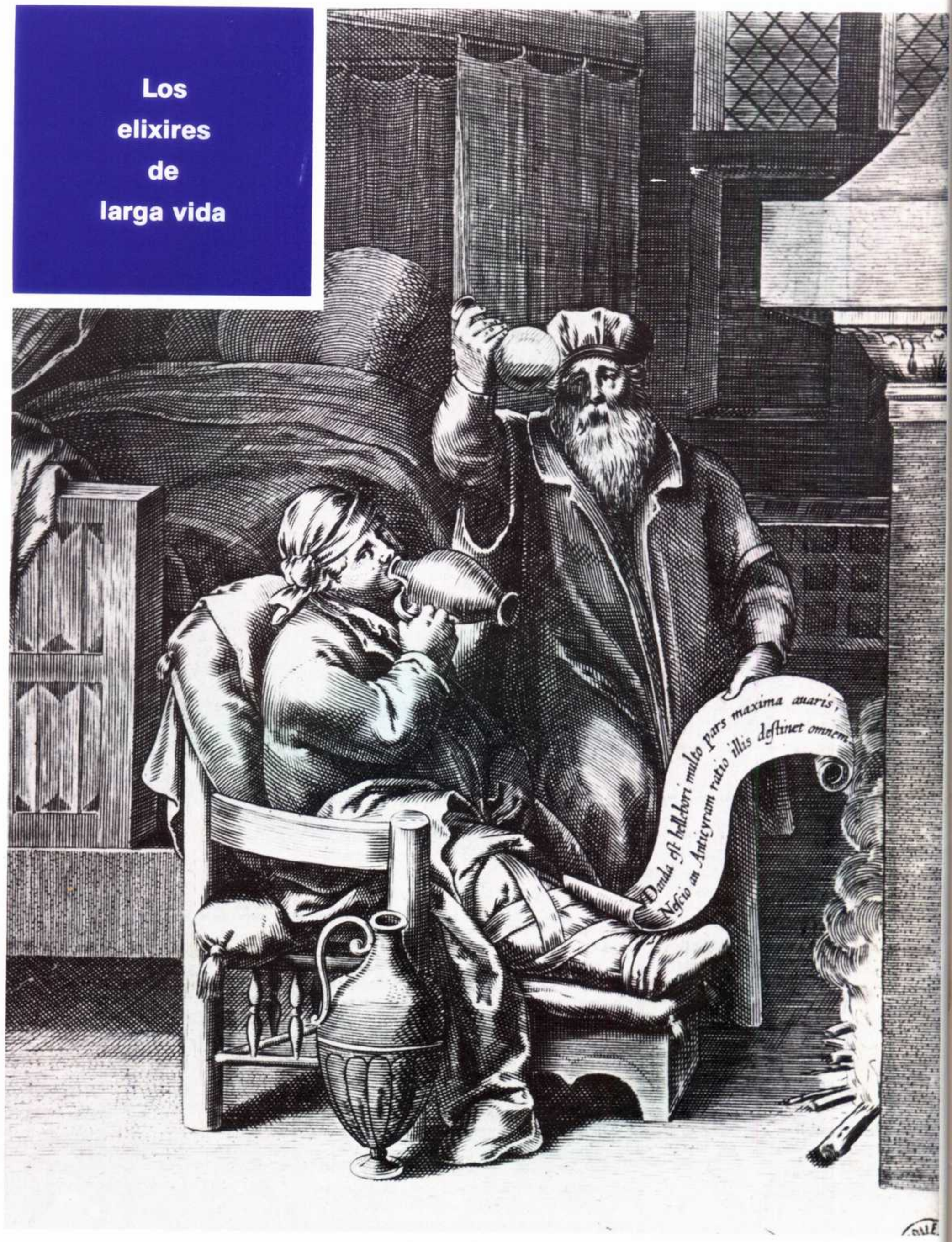


Figura 1. **El ácido úrico tenia hasta hoy mala reputación, ya que es la causa de la gota. Helo ahi, elevado al rango de elixir de larga vida.** (Foto J.L. Charmet: la gota, grabado del siglo XVII.)

■ Desde la más remota antigüedad, la magia ha consistido en una *cocina* particular destinada a proporcionar alimentos a los poderes benéficos o maléficos. Pronto se comprobó que, efectivamente, a ciertos ingredientes podían caber efectos curativos; y, al margen de las preparaciones que hoy conforman los medicamentos, también se intentó descubrir el medio de alargar la vida. Podríamos creer que nos las vemos con una descripción medieval, y no es así; contemporáneos nuestros, de gran variedad, todavía se dedican a demostrar que, al fin, han descubierto el elixir de larga vida.

Uno de los ejemplos más célebres nos lo ofrece el premio Nobel Linus Pauling, quien, octogenario ya, quería a toda costa demostrar que un consumo sobreabundante de vitamina C (él mismo consume diariamente varios gramos) prolongaba sensiblemente la duración de la vida. El ácido úrico, otra pequeña molécula, aunque menos inofensiva que la vitamina C, rivaliza hoy con ésta por tomar la delantera entre los elixires de larga vida.(1)

Bruce Ames, célebre microbiólogo de la universidad de Stanford sobradamente conocido por el diseño de los ensayos que por medio de microbios especialmente seleccionados al efecto, permiten detectar el poder cancerígeno de las moléculas natural o artificialmente presentes en el entorno, de hecho acaba de afirmar que el ácido úrico intervendría como protector muy eficaz contra un gran número de fenómenos potencialmente cancerígenos.(1) Aún más, este efecto protector provendría de una acción eficaz que aquél ejercería contra el envejecimiento.

Envejecimiento: una avalancha de errores

Muchas teorías tratan de explicar el envejecimiento, y la mayoría de ellas se inspiran en el modelo propuesto en 1963 por Leslie Orgel, con el nombre de avalancha de errores («error catastrophe»). La idea subyacente es que los errores —que se producen necesariamente en el curso de la síntesis de las macromoléculas que constituyen las células— no son equivalentes. Los que afectan a la maquinaria responsable de las síntesis macromoleculares (en suma, de todo el edificio celular) son mucho más graves que los otros por causa de un efecto de bola de nieve: un error en un componente de esta maquinaria será por sí mismo fuente de errores en todas las moléculas en las que este componente efectúa la síntesis. Un error a este nivel jerárquico se traducirá, pues, rápidamente, en la degeneración y muerte de la célula considerada. El envejecimiento sería entonces el resultado de la multiplicación (cuya probabilidad crece con el transcurso del tiempo) de tales acontecimientos.

¿Cuáles son las causas? Muchos autores coinciden hoy en suponer que los radicales inestables producidos en el curso de ciertas reacciones del metabolismo o por radiaciones naturales o artificiales (OH° O_2 por ejemplo) son, por su gran reactividad química, causa de un gran número de modificaciones que alteran el buen funcionamiento de las moléculas interesadas. Una causa frecuente de la producción abundante de radicales libres es el mismo sistema de transporte del oxígeno en la sangre. Por ejemplo, en el hombre, los 750 gramos de hemoglobina de su sangre producen cada día ¡más de 20 gramos de moléculas oxidadas generadoras de radicales nocivos!

En la célula hay numerosos sistemas de detección y reparación de los errores, pero es inevitable que éstos tiendan poco a poco a dominar y a conducir a la muerte celular o a su transformación en célula maligna. El mejor remedio sería, no ya recupérar sino destruir estos radicales antes de que puedan provocar estragos: así, la selección natural habría conducido a la fabricación de trampas eficaces enzimas en el caso de los radicales de larga duración de vida como O_2 —(el superóxido dismutasa, véase *La Recherche,* n.º 55, p. 370, abril 1975)— o pequeñas moléculas reactivas, como la vitamina C o el ácido úrico.

¿Protegería del cáncer el ácido úrico?

Esta molécula, bien conocida de los sibaritas, tenía hasta hoy mala reputación por ser la causa de... la gota. ¡Hela ahí! elevada al rango de elixir de larga vida. ¿Pero cuáles son los argumentos adelantados por Bruce Ames? En primer lugar, observa en un sistema experimental formado de glóbulos rojos que el envejecimiento de estas células se retarda considerablemente en presencia de una concentración saturada de ácido úrico. Al instante, subraya que la duración media de vida de los animales, en relación con su talla (los pequeños animales viven menos tiempo que los grandes), está aparentemente relacionada con la forma de excreción de los derivados nitrogenados: los mamíferos, cuyo metabolismo de aquéllas da fin en el estadio de la urea, proporcionalmente viven mucho menos tiempo que los reptiles o los pájaros, que excretan la urea en forma de ácido úrico. Pero, el hombre es excepcional entre los mamíferos, puesto que vive largo tiempo; ahora bien, la concentración de ácido úrico en la sangre humana es mucho más elevada (véase figs. 1 y 2) que en la de los otros mamíferos (y ello causa de cuando en cuando la formación de pequeños cristales puntiagudos que, colocados en las articulaciones, provocan las dolorosas crisis de la gota). Más aún, en los primates hay una correlación muy clara entre la prolongación de su duración de vida y la concentración de ácido úrico en su sangre. Dos mecanismos se ponen en marcha para elevar esta concentración; por una parte, un mecanismo activo de recuperación a nivel del riñón, y por otra, la desaparición de un enzima, la uricasa, que degrada el ácido úrico en los primates primitivos y en muchos mamíferos. Todas estas correlaciones sitúan así al ácido úrico en el rango de los elixires de larga vida: los sibaritas se habrán salido con la suya y sabrán permanecer jóvenes, a no ser que las enfermedades cardiovasculares se los lleven por delante. Pero también uno puede preguntarse sobre una (pequeña) particularidad bioquímica: es la degradación de los eslabones elementales de los ácidos nucleicos (las purinas) lo que produce el ácido úrico, pero esta misma reacción produce *también* un radical libre (O_2). ¿No puede suponerse, entonces que sea la propia síntesis de ácido úrico por la célula, la causa del envejecimiento, al menos en ciertos casos? A mayor abundamiento, hay una excepción a la presencia universal de ácido úrico: la concentración cerebral de esta molécula es mucho más débil que la del resto del cuerpo, pese a ser el cerebro el órgano más oxigenado.

Se arriesgan muchos errores y admiraciones prematuras, por demasiado empeño en querer descubrir la poción mágica. ¡El envejecimiento es inevitable y sin duda no tiene una sola causa!

Antoine-Louis Lecocq.

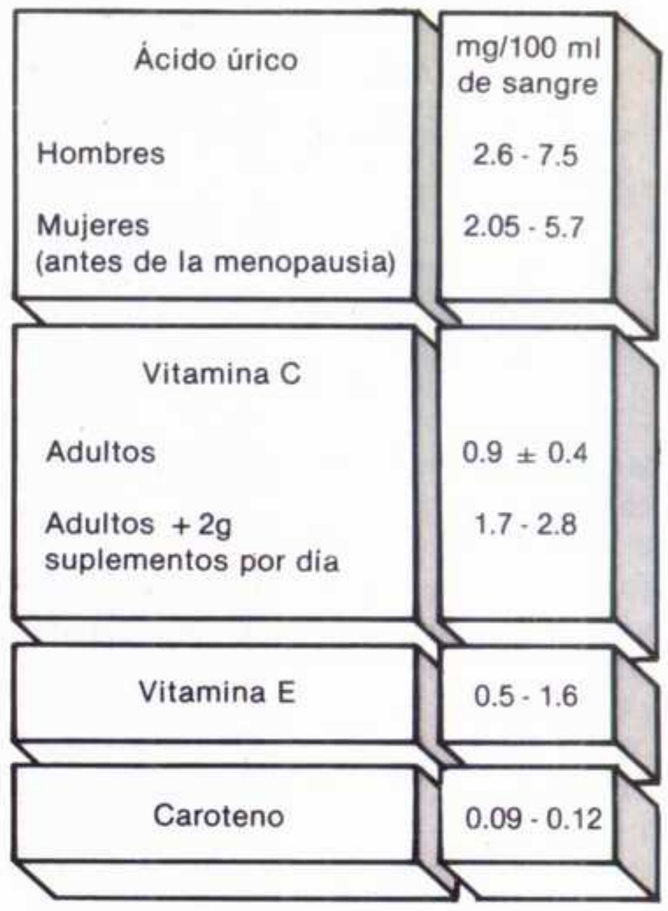


Figura 2. **Numerosas moléculas realizan la función de antioxidante en la sangre. La vitamina C y el ácido úrico están presentes en cantidad muy apreciable. La concentración de ácido úrico es más débil en las mujeres que en los hombres, y crece tras la menopausia (sin embargo es de destacar que las mujeres viven de promedio más tiempo que los hombres). La concentración saturante de ácido úrico al pH sanguíneo es de 7 mg por 100 ml. Ello explica la frecuencia de la gota por cristalización del ácido úrico a nivel de las articulaciones.**

(1) B.N. Ames, R. Cathcart, E. Schwiers, P. Hochstein, *Proc. Nat Acad. Sci. USA, 78,* 6858, 1981.

Los cetáceos del Mediterráneo

por Adrià Casinos

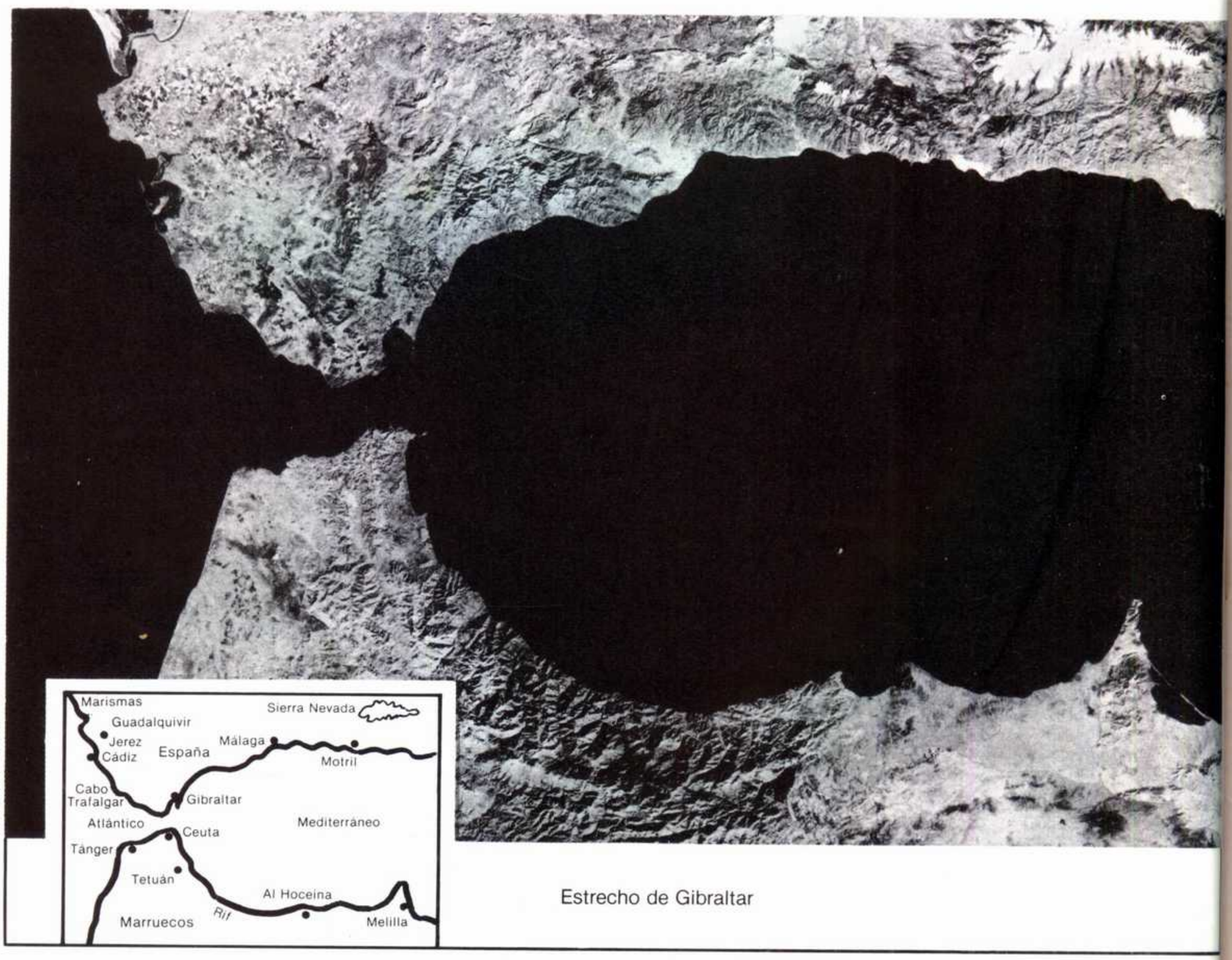
Adrià Casinos es profesor adjunto de Zoología (Vertebrados) en la Universidad de Barcelona y miembro del grupo de trabajo sobre Mamíferos marinos de la Comisión Internacional para el Estudio Científico del Mediterráneo (C.I.E.S.M.).

■ En los últimos años se han acumulado tan gran cantidad de juicios pesimistas sobre el presente y futuro del Mediterráneo, que puede costar el llegar a creer que en dicho mar puedan todavía encontrarse delfines y ballenas en número significativo.

■ Y, sin embargo, así es. En esa relativamente extensa cuenca (3×10^6 km^2) se han inventariado nada menos que 19 especies de cetáceos. La mayoría de estas especies pueden hallarse regularmente; otras son ocasionales. El número es relativamente alto, si se tiene en cuenta que, en conjunto, son un centenar las especies vivientes de cetáceos.

■ El Mediterráneo presenta una característica estructural muy importante que, a mi modo de ver, se ha de tener en cuenta para juzgar la importancia relativa de su fauna cetológica. Me refiero al hecho de que en su conjunto es muy cerrado, casi un lago. Los 14 km del estrecho de Gibraltar, constituyen su única comunicación natural y paso necesario para la mayoría de los ejemplares no sedentarios en el Mare Nostrum. Y digo la mayoría porque existe otra comunicación, ésta no natural, que es el canal de Suez. Es cierto que, por sus características de obra de ingeniería y régimen de intensa navegación, parece difícil que pueda desempeñar una función de trasvase biogeográfico en lo que a cetáceos se refiere. Y, en efecto, la cosa no es tan sencilla. El canal de Suez lleva abierto más de 100 años. Durante ese tiempo cerca de un centenar y medio de especies, de ellas 40 de peces, han invadido el Mediterráneo oriental a través de él. Y parece ser que una especie de cetáceo típicamente indopacífica ha seguido el mismo camino. Se trata del delfín plúmbeo *(Sousa plumbea)*. En el Museo Británico de Londres se conserva el cráneo de un ejemplar varado en el Pequeño Lago Amargo y la especie ha sido observada en el Gran Lago Amargo e incluso en el puerto mediterráneo de Port Said.(1) Habría que seguir con atención el fenómeno para verificar si la llamada migración lessepsiana afecta también a los cetáceos.

Volviendo a la valoración de Gibraltar, hay que asumir el hecho de que cualquier espécimen exótico de cetáceo que llegue a las costas atlánticas de la Europa meridional o del norte de África no tiene demasiadas posibilidades de penetrar en el Mediterráneo. Debe ser difícil «acertar» la diana de Gibraltar, a pesar de la corriente de penetración en el Mediterráneo de aguas superficiales, a la que me referiré repetidas veces a lo largo de este artículo. El problema se plantea de forma diferente para las especies comunes, que deben



Estrecho de Gibraltar

(1) D. Marchessaux *Vie Marine, 2*, 59-66, 1980.

haber realizado sus migraciones a través del estrecho durante miles de años. Pero antes de entrar en extremos más puntuales, vamos a ver qué problemas son inherentes, en cualquier latitud, al estudio de los cetáceos.

Metodología y problemática del estudio de los cetáceos

Los cetáceos constituyen para el investigador un grupo ingrato. De entrada se le presenta el problema de cómo estimar la frecuencia relativa de las diferentes especies. Si en cualquier grupo zoológico el muestreo constituye en sí mismo un problema, el que nos ocupa lo agudiza. Clásicamente han sido dos los métodos sobre los que preferentemente se han venido sustentando los estudios cetológicos: los varamientos y las observaciones en alta mar. Creo que vale la pena una crítica de ambos sistemas, para que el lector no se llame a engaño sobre lo que expondré luego, es decir, para que lo relativice un tanto, quizá algo más de lo que lo hace (o debería hacer) con cualquier hecho científico.

El método más común de muestreo es la recogida de animales varados. Tan sólo la posibilidad que ofrece la recuperación de material ya lo justificaría. Pero es que además es insustituible, sobre todo en casos en que las observaciones en alta mar no se pueden llevar a cabo sistemáticamente. ¿Cuáles son entonces los defectos? Hay bastantes. En primer lugar, no todos los cetáceos varan con idéntica frecuencia, con independencia de la abundancia con la que la especie esté presente en la zona. En general, tienen más probabilidades de hacerlo las especies costeras, mientras que las que habitan en aguas profundas difícilmente aparecen en las playas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no todas las costas son iguales. Las de talud más estrecho permiten una mayor aproximación a tierra de las especies que, por así decir, viven en alta mar. En consecuencia, no siempre será correcto traducir frecuencia de varamiento por grado de presencia en la región. Desde el punto de vista de lugar y tiempo, también el método tiene sus puntos débiles. No todas las playas son igualmente frecuentadas por observadores potenciales, ni lo son por igual en todas las épocas del año. Hay que tener en cuenta incluso los factores subjetivos. Muchas veces un pequeño cetáceo pasa desapercibido. Uno de gran tamaño, independientemente de si se trata de una especie común o no, provoca expectación.

Como en la mayor parte de los casos resulta muy difícil disponer de barcos que rastreen continuamente una zona en busca de cetáceos, se tiende a repartir hojas de señalización a los navíos que penetran en aguas que interesan, ya sean dichos navíos de guerra o de tráfico civil. En las hojas de señalización figuran las siluetas en alta mar de las especies de aparición más probable. Este método, como después veremos a propósito del rorcual común, ha permitido reunir muchos datos. Pero tampoco está libre de defectos. De entrada, los barcos, principalmente los de líneas regulares, tienden a seguir rutas bastante fijas. En consecuencia, las observaciones suelen acumularse mayoritariamente en determinadas épocas del año. Por ejemplo, es corriente que en el Mediterráneo, durante el verano y por causa de la afluencia turística, determinados trayectos se incrementen por un factor importante. En consecuencia, las observaciones se repartirán irregularmente durante los distintos meses.

Una fuente no desdeñable de información son las factorías balleneras. Es cierto que operan de forma relativa. Tan sólo determinadas especies, de rentabilidad económica evidente, son capturadas, rentabilidad que también está en

T. CORDADOS
S.T. VERTEBRADOS
CI. MAMÍFEROS
O. CETÁCEOS

S.O. ODONTOCETOS	
F. DELFÍNIDOS	
Steno bredanensis	Delfín de hocico estrecho
Sousa plumbea	Delfín plúmbeo
Stenella coeruleoalba	Delfín listado
Delphinus delphis	Delfín común
Tursiops truncatus	Mular
Pseudorca crassidens	Orca bastarda
Orcinus orca	Orca
Grampus griseus	Calderón gris
Globicephala melaena	Calderón común
Phocaena phocaena	Marsopa
F. FISETÉRIDOS	
Physeter macrocephalus ..	Cachalote
F. HIPEROODÓNTIDOS	
Mesoplodon bidens	Ballenato de hocico de Sowerby
Mesoplodon densirostris ..	Ballenato de hocico de Blainville
Ziphius cavirostris	Ballenato de Cuvier
S.O. MISTICETOS	
F. BALENOPTÉRIDOS	
Balaenoptera acutorostrata	Rorcual de aleta blanca
Balaenoptera borealis	Rorcual norteño
Balaneoptera physalus ...	Rorcual común
Megaptera novaenglinae ..	Jibarte
F. BALÉNIDOS	
Balaena glacialis	Ballena de los vascos

■ Este cuadro nos sitúa, según la clasificación linneana, las especies de cetáceos hallados hasta ahora en el Mediterráneo.

A los cetáceos se les asigna la categoría de orden, y junto con otros (carnívoros, roedores, primates, insectívoros,...) constituyen el grupo de los mamíferos, a los que se aplica el taxon inmediatamente superior al orden, la clase. A su vez, los mamíferos, junto con las aves, los reptiles, los anfibios, los peces y los ciclóstomos, integran los vertebrados, considedrados como subtipo. Vertebrados y otros grupos menores quedan englobados bajo la denominación de cordados, un tipo o filo, es decir un conjunto con un único origen.

Por su parte, el orden cetáceos se divide en dos subórdenes, odontocetos y misticetos, según posean sus representantes dientes o barbas. Dichos subórdenes comprenden una amplia variedad de familias, de las que tan sólo cinco están representadas en el Mediterráneo.

Como puede verse, el sistema linneano, llamado así porque sus fundamentos fueron propuestos por el naturalista sueco del siglo XVIII Linné, y del que el presente cuadro es un buen ejemplo, es una clasificación jerarquizada, pero no arbitraria, como hay tantas. Intenta reflejar la genealogía evolutiva, la forma en que los diferentes grupos, animales en este caso, se han ido sucediendo y radiando a lo largo de las eras.

función del llamado «esfuerzo de captura», que en principio tiene que ser proporcional al tamaño de la población implicada.

Sin duda el gran reto que enfrenta cualquier método de los apuntados es llegar a separar las poblaciones sedentarias de las migradoras y, respecto a estas últimas, conocer las rutas de migración, sobre lo cual no cabe decir que abunden los conocimientos. Hay bastante trabajo hecho en el sentido de marcar ejemplares, pero casi siempre reducido a los grandes cetáceos, y los datos son muy fragmentarios.

Puede que la radiotelemetría nos esté abriendo las puertas de una nueva era. En los últimos cuatro años se han publicado diversos resultados de seguimiento de rorcuales mediante este método y parece que la fase puramente experimental ha tocado a su fin. Los datos hasta el presente son esperanzadores, pues ha sido posible seguir animales durante 17 días,(2) y a lo largo de distancias notables. Así, recientemente se ha seguido el rastro de un rorcual común a lo largo de 2000 km.(3) Todas las observaciones parecen indicar que los animales no se sienten particularmente incómodos con los radioemisores.

Testimonios históricos

El marco histórico es útil para encuadrar un problema en sus justos límites, sobre todo cuando se trata de situaciones que cuentan con milenios de historia escrita. Y así es en el tema que nos ocupa. Aristóteles, un hombre mediterráneo del siglo v a.C. fue el primero entre los filósofos (en el sentido originario del término) en considerar que los cetáceos eran mamíferos. Los frescos del palacio de Cnossos (Creta) que datan de unos 1600 años antes de nuetra era, reproducen unos delfines rodeados de peces (fig. 1) con una fidelidad tan certera que ha habido autores que han visto suficientes detalles como para clasificarlos como delfines listados *(Stenella coeruleoalba).*(4) De hecho, desde la más remota antigüedad estos mamíferos marinos han despertado la curiosidad humana, curiosidad que iba acompañada de simpatía en el caso de los delfines. Numerosas monedas de ciudades de la antigüedad clásica reproducían la silueta más o menos mitificada de un delfín. Las leyendas sobre la bondad intrínseca de este animal parecen ser universales, y son muchas las culturas que albergan la creencia de que estos animales socorren a las personas perdidas o abandonadas en alta mar. Por contra, en los cetáceos de gran tamaño se ha visto frecuentemente el monstruo, del que el leviatán bíblico es sólo una versión. Quizá valga la pena presentar dos testimonios históricos, así como sus interpretaciones contemporáneas.

Desde 1349 cuando Felipe VI, rey de Francia, se convierte en señor del Delfinado (Dauphiné), el heredero de la corona ostentó siempre el título de Delfín (Dauphin). Con esta aclaración es más comprensible la siguiente anécdota. El 1 de setiembre de 1638 cuando quince galeras francesas se aprestaban para hacer frente a otras tantas hispanosicilianas, de ochenta a cien delfines se arremolinaron súbitamente alrededor de la capitana francesa, cuyos tripulantes lo entendieron de buen augurio y, dado que la reina estaba encinta, empezaron a gritar: «Vive le roi! Nous aurons du Dauphin». Cuatro días después nacía el futuro Luis XIV.(5)

El 1 de junio de 1458, festividad de Corpus Christi, varó una ballena en la desembocadura del río Llobregat, cerca de Barcelona. El cronista redactor del «Dietari de la Deputació del General de Cathalunya» (quien, sin duda, no debió verla, ya que nos la representa como un pez) cuenta que inmediatamente mucha gente en Barcelona empezó a pensar que no tardaría en morir algún gran príncipe y que, como confirmando la superstición, a finales de aquel mismo mes se produce en Nápoles la muerte del rey Alfonso el Magnánimo.(6)

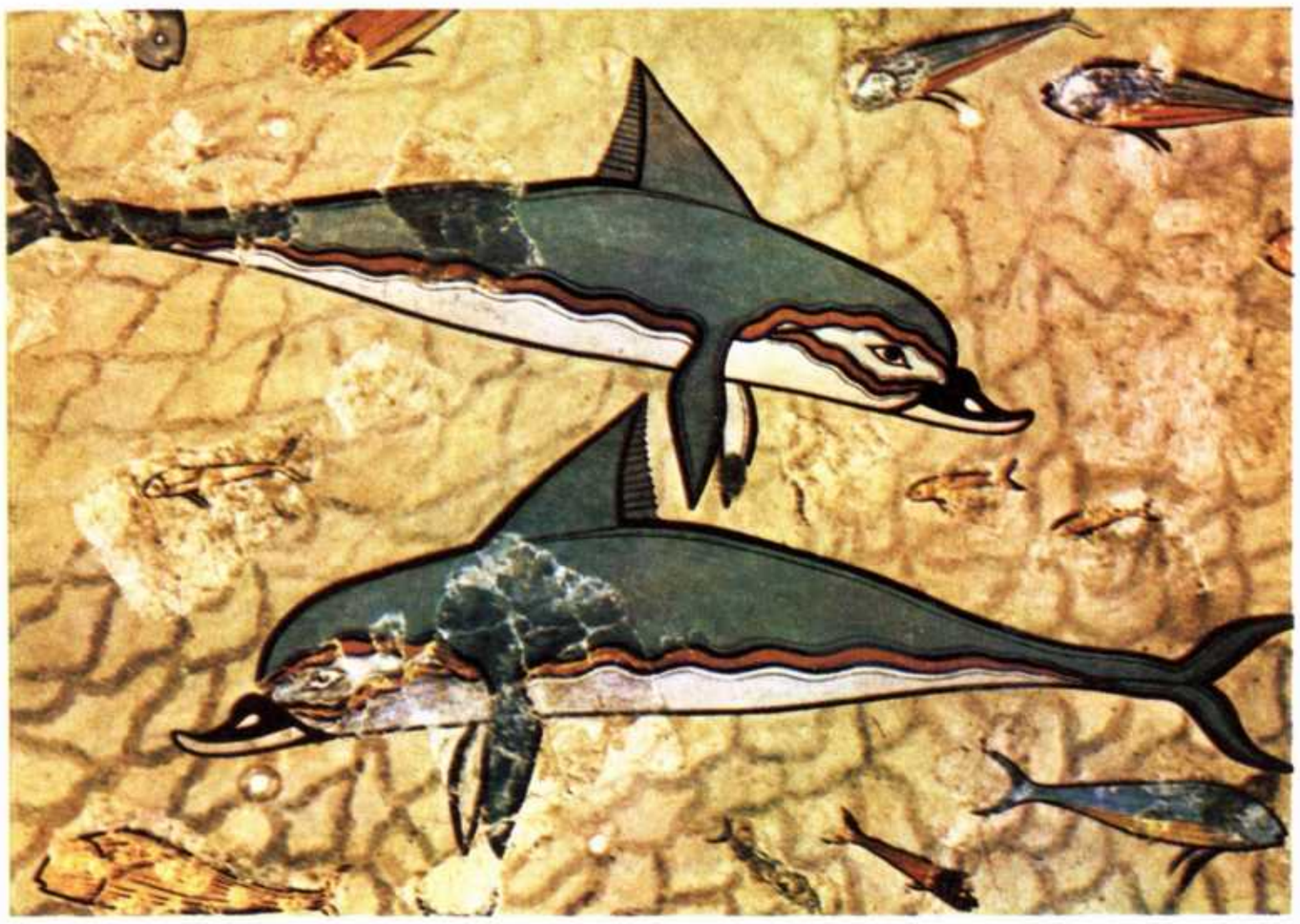


Figura 1. **La fotografía nos representa un fragmento de los frescos del palacio de la reina de Cnossos (Creta), conservados en el Museo de Heraclion. Datan del momento de apogeo de la cultura minoica, en plena edad del bronce. El cetólogo británico F.C. Fraser fue el primero en reconocer como delfines listados los cetáceos representados en los frescos. Posteriormente se ha cuestionado la interpretación. En cualquier caso, es cierto que se trata de delfines (se diferencian perfectamente de los peces que hay alrededor) y la existencia de una banda lateral media, a partir del antifaz, puede hacer pensar que el Dr. Fraser no iba errado.**

Delfín común - delfín listado: un nicho ecológico cambia de ocupante

Consideremos la hora actual y, al efecto, atendamos a algunos comentarios sobre las especies de cetáceos que en el Mediterráneo presentan problemas más interesantes que, en mi opinión, pueden interesar a especialistas de materias afines, aun cuando proceda la advertencia de que las explicaciones a determinados hechos habrían de redactarse en condicional. Nuestros datos son muy fragmentarios y ni siquiera el catálogo se puede dar por concluido. Colegas franceses, italianos, tunecinos y españoles hemos intentado sintetizar, no hace mucho, cuanto se sabe sobre los cetáceos del Mediterráneo.(7) Y lo hemos hecho conscientes de nuestras limitaciones; por ejemplo, de la escasa información que tenemos sobre la parte oriental de la cuenca, con la excepción del mar Negro, muy bien estudiado por los colegas soviéticos.

Empecemos comentando la interacción delfín común - delfín listado.

La primera sorpresa que ha aportado el estudio sistemático de los varamientos de cetáceos en el Mediterráneo occidental ha sido la constatación de que el delfín común *(Delphinus delphis)* (fig. 2) no lo era tanto en las costas europeas de la zona como su nombre parece indicar. Sin embargo, no siempre ha debido ser así. Cuando se revisan las colecciones antiguas que hacen referencia a las costas mediterráneas francesas o españolas, se encuentran restos óseos

(2) W.A. Watkins, K.E. Moore, D. Wartzook, J.H. *Deep-Sea Research,* 28A, 6, 577-588, 1981.
(3) W.A. Watkins, K.E. Moore, J. Sigurjónsson, D. Wartzok, G.N. di Sciara I.C.E.S. C.M. / 1981 / N:16, 11 pp., 1981, (xerox).
(4) F.C. Fraser «Functional Anatomy of Marine Mammals» (R.J. Harrison, ed.) Academic Press, London, p. 1-44, 1977.
(5) L. Figuier «Les Mammifères» Hachette et Cie, Paris 1869.
(6) Anónimo «Dietari de la Deputació del General de Cathalunya» (1411-1458) Diputación Provincial de Barcelona, Barcelona 1974.

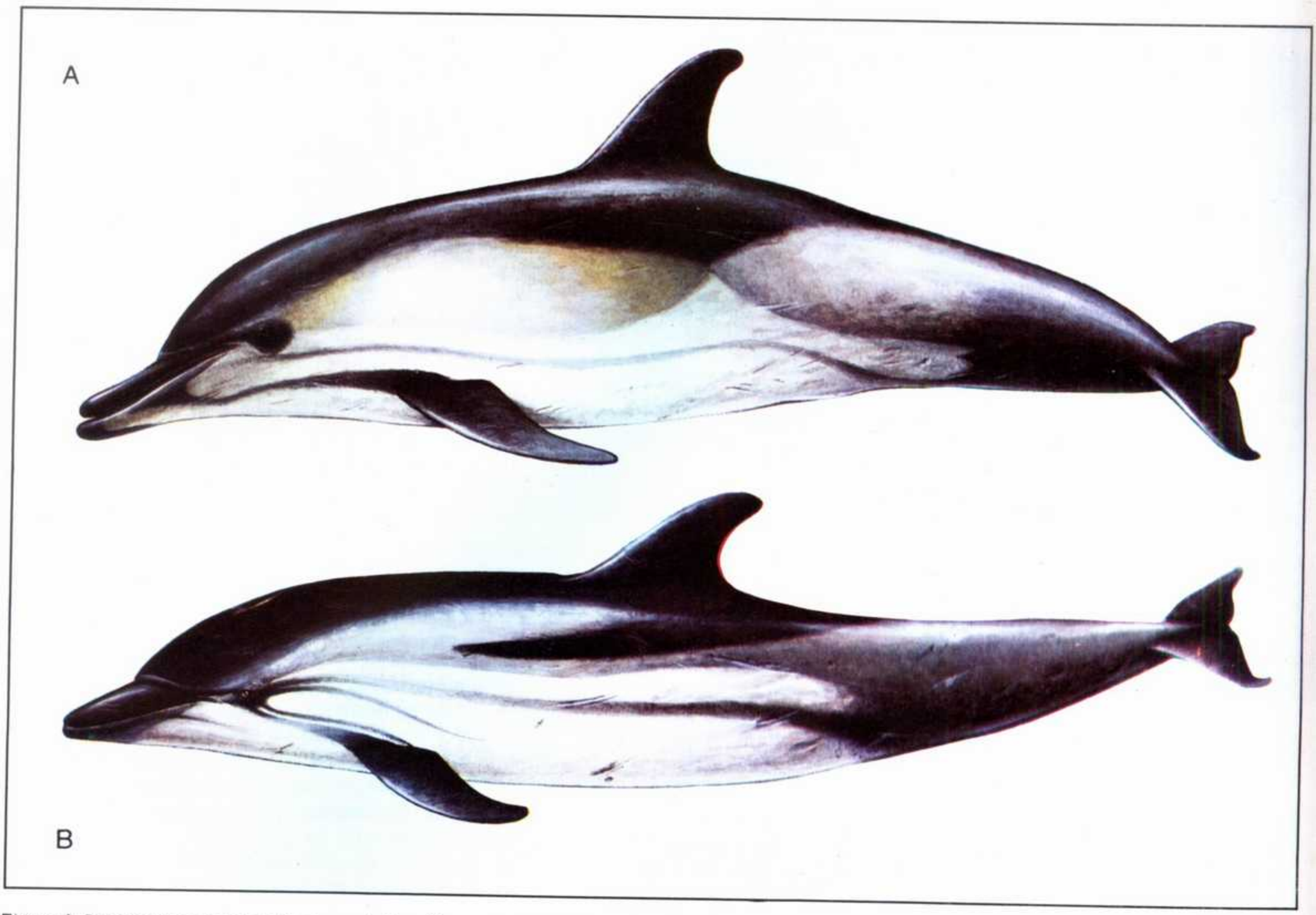


Figura 2. **Pueden verse aquí perfectamente las diferencias y semejanzas entre *Delphinus delphis* (delfín común)** [A] **y *Stenella coeruleoalba* (delfín listado)** [B]. **Cuando se puede comparar ejemplares de ambas especies, las diferencias aparecen bastante evidentes. De entrada, la silueta de la cabeza. El hocico del delfín común es más largo y la convexidad de la frente está menos marcada. Pero, sin duda, es a nivel de la coloración donde las diferencias son más manifiestas. El delfín común presenta un dorso oscuro y un vientre blanco, separados por una zona en el flanco en forma de ocho alargado, que varía entre el amarillo y el gris. Dos bandas grises van de la mandíbula inferior a la inserción de la aleta pectoral y de debajo del ojo a la zona anal. Lo más característico del delfín listado es la figura falciforme de la zona dorsal, fuertemente pigmentada, y las bandas longitudinales, más oscuras que las del delfín común, que, partiendo del ojo, van hasta la aleta pectoral y la región anal. A ellas se debe el nombre común de la especie.**

de delfín común con una relativa abundancia. Por el contrario, el delfín listado *(Stenella coeruleoalba),* una especie vecina, de tamaño parecido (unos 2 m), que sólo se diferencia del delfín común por detalles de coloración (fig. 2) o del cráneo, era considerado hasta hace poco un odontoceto infrecuente. Tanto así, que no era extraño que se publicaran notas monográficas sobre los ejemplares varados.[8,9] Sin embargo, en los últimos siete años, el panorama ha cambiado radicalmente. Los hallazgos de delfín listado se han incrementado sin cesar, hasta el punto de que en la actualidad se puede decir que es el odontoceto más frecuente en las costas de Francia y España.

¿Qué ha sucedido? A juzgar por la alimentación, estas dos especies de delfines comparten parcialmente el mismo nicho ecológico. Quizá el listado tenga una mayor propensión a alimentarse de cefalópodos (sepias, calamares,...) que de peces. De una forma esquemática podría decirse que *Stenella coeruleoalba* se ha beneficiado del abandono de la zona por parte de *Delphinus delphis.* Ha habido una sustitución, aunque asincrónica si juzgamos a través de los varamientos, ya que la desaparición de una especie se ha producido previamente a la aparición de otra.

Una colega francesa, Denise Viale, ha intentado buscar una explicación en los factores contaminantes existentes en la zona (véase más adelante).[10] El delfín común habría reaccionado «huyendo», para buscar refugio en la parte sur de la cuenca. Esto parece confirmado por el hecho de que en las costas argelinas y tunecinas *Delphinus delphis* sigue siendo más común que *Stenella coeruloalba.* Por contra, el delfín listado, ante la contaminación, habría aplicado una estrategia diferente. Habría tendido a una sobrenatalidad. Para Viale son prueba de ello la gran cantidad de jóvenes entre los ejemplares varados y el hecho de encontrar restos de alimentación sólida en ejemplares que por su tamaño se corresponden a animales que en otras latitudes (Japón) todavía son amamantados.

Es curioso que tan sólo en una zona del Mediterráneo occidental europeo se hayan venido produciendo en los últimos años capturas o varamientos de delfín común. Me estoy refiriendo a Menorca. Por contra, el delfín listado era todavía desconocido. De un año a esta parte se han encontrado ya los primeros ejemplares de *Stenella coeruleoalba.* Hasta no hace mucho se consideraba que las aguas menorquinas eran de las menos contaminadas del Mediterráneo. ¿Es que la situación está cambiando? Si así es ¿podríamos considerar que el delfín listado es en nuestras latitudes un indicador de contaminación del medio marino?

El delfín de los zoos

Desde hace unos cuantos años han proliferado en los zoos los espectácu-

(7) R. Duguy, A. Casinos, A. Di Natale, S. Filella, F. Ktari-Chakroun, R. Lloze, D. Marchessaux *Rapp. Comm. int. Mer Médit., 27,* (en prensa).
(8) P.J.H. van Bree, R. Mizoule, G. Petit *Vie et Milieu, XX,* 2A, 447-460, 1969.
(9) D. Robineau *Mammalia, 36,* 3, 521-529, 1972.
(10) D. Viale «Recherches d'Écologie théorique. Les stratégies adaptatives» (R. Barbault, P. Blandin, J.A. Meyer, ed.) Maloine s.a., Paris, p. 209-216, 1980.

La marsopa, cetáceo enigma del Mediterráneo.

Figura 3. **En esta fotografía cabe apreciar las características específicas de *Tursiops truncatus* (delfín mular): morro más corto y macizo que en el caso del delfín común y del listado, aleta dorsal relativamente baja y larga, pigmentación general uniforme e intensa. Tiene también un valor testimonial: el de la expectación que provoca un delfín al varar en una playa frecuentada, en temporada estival.** (Foto de J.L. Pretus, Mahón.)

los con delfines. Lo más corriente es que se trata del delfín llamado mular *(Tursiops truncatus).* Tradicionalmente las «vedettes» del espectáculo eran mulares capturados en aguas de Florida y entrenados en acuaramas de la zona. Actualmente la cosa está cambiando bastante, en la medida en que el gobierno norteamericano está implantando una serie de restricciones a la captura de cetáceos de pequeño tamaño, salvo si se trata de animales destinados a fines inequívocamente científicos. En cualquier caso, el mular es una especie cosmopolita y, consecuentemente, se halla en el Mediterráneo.

El mular mediterráneo es de mayores dimensiones que su homólogo americano. Es el mayor de los delfines típicos de nuestras latitudes. En la figura 3 se ve un ejemplar varado en la playa Sa Mesquida, cerca de Mahón, Menorca. Puede comprobarse que la confusión con otras especies es prácticamente imposible. Respecto de las que más se le asemejan, el delfín común y el listado, se diferencia por su tamaño netamente superior (hasta casi 4 m), la coloración muy uniforme es mucho más oscura, y el morro, más corto y macizo.

En nuestras costas, el mular es la especie de delfín más costera, de tal manera que basta con alejarse muy poco del litoral para tener muchas probabilidades de observarlo. Y ello a pesar de que se trata de un animal muy poco gregario. Es difícil ver grupos que comprendan más de 4 ó 5 ejemplares.

Parece ser que esta especie no se presenta con la misma frecuencia a lo largo de todas las costas del Mediterráneo. Tenemos datos de que el mular es abundante en las costas norteafricanas (Argelia y Túnez)[11] y en el Próximo Oriente (litoral egipcio y palestino). También lo es en nuestras costas. A resaltar el que disponemos de datos que permiten pensar que por lo menos dos deltas de ríos que van a desembocar en la cuenca mediterránea (Nilo y Ebro) concentran poblaciones relativamente importantes. Así, en el segundo de ellos es probable encontrar restos óseos de esta especie a lo largo de las playas.

¿La marsopa que nunca existió?

La marsopa *(Phocaena phocaena)* es uno de los cetáceos de menor tamaño. Por término medio, su longitud oscila alrededor de 1,50 m. Durante siglos ha sido una de las especies más populares y conocidas por el ser humano, no sólo por sus hábitos costeros, sino también porque era frecuente que remontara los grandes ríos hasta gran distancia de la desembocadura (fig. 4).

De igual manera que hemos podido constatar la disminución de la población del delfín común, el censo más o menos controlado de animales varados nos ha puesto ante el hecho de que la marsopa debe considerarse en la actualidad como inexistente en el Medi-

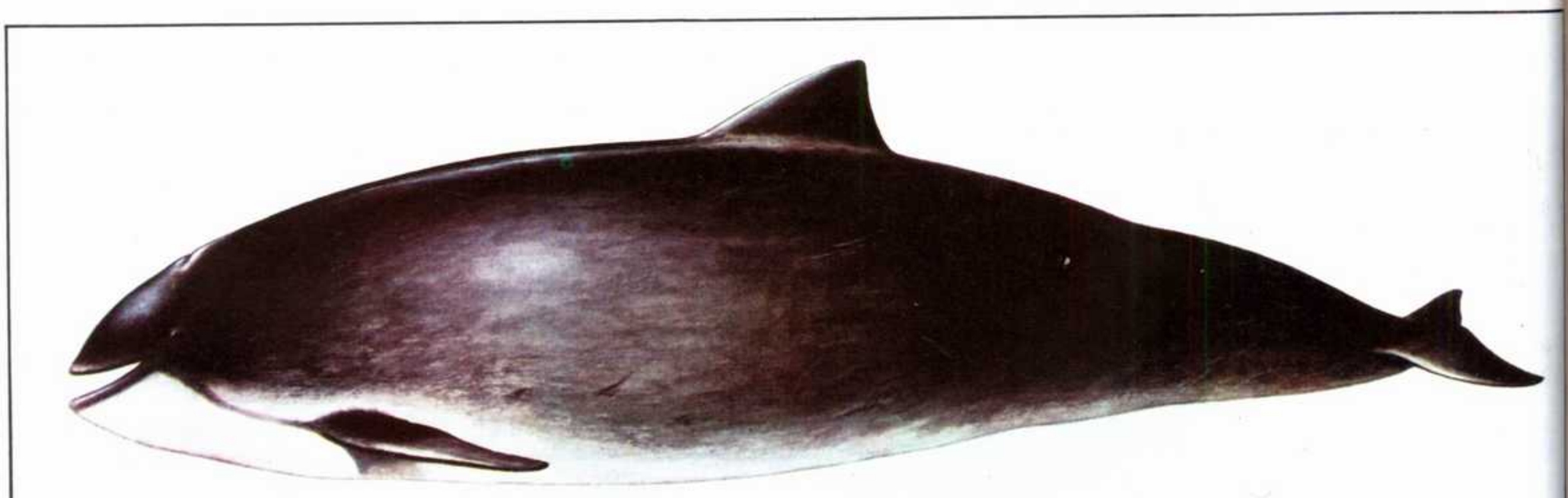


Figura 4. ***Phocaena phocaena*** **(marsopa). La presencia o ausencia de la marsopa en un área geográfica es relativamente fácil de comprobar, dadas las características inconfundibles de este cetáceo. Su pequeño tamaño, la ausencia de hocico y la aleta dorsal triangular conforman una silueta irrepetible en nuestras latitudes.**
Históricamente, la marsopa ha sido un cetáceo de importancia económica para los pueblos del norte de Europa. De la grasa se fabricaba aceite, principalmente destinado a las lámparas de las iglesias. La piel se curtía, obteniéndose un material impermeable apreciado para la confección de calzado. La carne, que era considerada como pescado y se podía consumir por lo tanto en días de abstinencia, se vendía fresca, salada o seca. Se decía que su gusto recordaba lejanamente al cerdo; de ahí posiblemente el origen del nombre «puerco de mar» con el que también se ha denominado a este delfínido.

(11) F. Ktari-Chakroun *Bull. Inst. natn. scient. tech. Océanogr. Pêche Salammbô, 7,* 139-149, 1980.

terráneo occidental europeo. Ante esto se ha planteado una polémica entre los colegas de los países ribereños de la zona. ¿Ha habido desaparición de la marsopa o la especie no ha estado nunca presente? Hay alguna opinión partidaria de la segunda posibilidad, de que los testimonios antiguos sobre la presencia de pequeño odontoceto no son más que el producto de una confusión con otras especies. Yo, particularmente, participo de la idea de que los testimonios son demasiado concluyentes para creer que únicamente se trata de una confusión. Hay antiguas descripciones que se corresponden exactamente con la marsopa. Así Companyo en su «Histoire Naturelle des Pyrénées Orientales»[12] califica de común la marsopa, dando detalles que se ajustan exactamente a la morfología del animal. Cita incluso la captura de un ejemplar. Graells,[13] que en su tiempo fue un notable conocedor de la mastozoología ibérica, habla de dos ejemplares de marsopa conservados en Granada y Valencia, procedentes respectivamente de Almuñécar y del litoral valenciano. Desgraciadamente, de ambos se ha perdido el rastro. En el Museo de Ciencias Naturales de Madrid hay un esqueleto montado en el que consta como procedencia el Mediterráneo.

El problema que se plantea ahora es si una desaparición tan radical ha podido tener lugar. La cuestión debe englobarse en el rango pasado y presente de la marsopa, no sólo en el Mediterráneo, sino en el conjunto de los mares europeos. Las poblaciones de la especie que nos ocupa deben haber visto sensiblemente reducido su número, a tenor de los datos conocidos. El Dr. van Bree, de la Universidad de Amsterdam, lo ha podido constatar en su propio país. Comenta[14] que en junio de 1948, en un paseo de unos diez quilómetros por la playa pudo contabilizar hasta siete ejemplares varados. En la actualidad, en el período que va de 1970 a 1975, tan sólo se han registrado 94 varamientos en la costa de los Países Bajos. Para el Dr. van Bree, diversos factores pueden haber sido la causa de esta caída en su número y, consecuentemente, de la población. Cita la contaminación; la pesca excesiva, que priva a los animales de una importante parte de su alimento natural; la gran velocidad de las barcas de pesca, que hace difícil que los animales puedan zafarse de las redes; los componentes ultrasónicos del ruido de los motores marinos,...

Si tenemos en cuenta los testimonios históricos, la población de marsopa siempre debió ser más baja en el Mediterráneo que en el Atlántico. En consecuencia, no es de extrañar que los factores antes mencionados, que han dañado sensiblemente a la población oceánica, hayan producido la desaparición de la marsopa en gran parte de la cuenca del Mare Nostrum. La excepción serían las costas norteafricanas, pues la especie ha sido vista en el litoral tunecino.[11] Posiblemente se trate de individuos de más allá del Estrecho que han seguido la corriente de penetración de aguas superficiales de procedencia atlántica[15].

Figura 5. **En la fotografía aparece un ejemplar de rorcual común *(Balaenoptera physalus)* que varó en la localidad catalana de Mataró en 1977. El animal fue transportado al interior de una piscina vacía, por donde desfilaron los curiosos durante varios días. Posteriormente, se preparó y conservó el esqueleto. Aparecen claros caracteres morfológicos propios de la especie, como las aletas pectorales y la dorsal de pequeño tamaño, las primeras de forma lanceolada. Se puede distinguir todavía otro de esos caracteres, éste realmente curioso. El tercio anterior de las barbas del lado derecho son blancas, mientras que las restantes del mismo lado y las del lado izquierdo son grises.** (Foto del autor.)

Rorcuales, no ballenas

Mis colegas y yo ya estamos acostumbrados a que se nos pregunte si hay ballenas en el Mediterráneo. La respuesta tendría que ser: sí y no. Voy a explicarme.

Como muchos de los lectores ya deben saber, los cetáceos, a los que según la jerarquía taxonómica de origen linneano que se utiliza normalmente en Zoología se asigna la categoría de orden, comprenden dos grupos o subórdenes relativamente diferentes. Por un lado, los odontocetos, cetáceos con dientes, a los que me he venido refiriendo sistemáticamente, y por otro, los misticetos, desprovistos de aquéllos. Presentan, en cambio, unas formaciones córneas llamadas barbas que, colgando de la mandíbula superior, desempeñan un papel de verdadero filtro. Son, por tanto, de régimen micrófago. En la figura 5 se aprecian perfectamente dichas barbas.

Con mucha frecuencia a cualquier misticeto se le da el nombre de ballena. Pero, estrictamente hablando, ballenas tan sólo lo son los miembros de una familia que se caracteriza entre otras cosas, por la falta de aleta dorsal. La llamada ballena de los vascos *(Balaena glacialis)* es un buen ejemplo. Tan sólo se ha encontrado dos veces en el Mediterráneo: una en Taranto (Italia) en 1877, y otra en Argel, en 1888. No es de extrañar su rareza. Todos los balénidos (verdaderas ballenas) son de latitudes más frías que las mediterráneas. Desde este punto de vista, no hay ballenas, pues, en el Mediterráneo.

Con el nombre de rorcuales se designan los misticetos pertenecientes a otra familia, los balenoptéridos. Se trata de animales que poseen una aleta dorsal triangular, cabeza más corta y definida que las verdaderas ballenas, y una serie de pliegues y surcos paralelos en la garganta y pecho. Estas «ballenas» sí existen en el Mediterráneo. Así, se encuentran o se han encontrado el rorcual de aleta blanca, el rorcual norteño, el rorcual común y la jibarte.

De todos ellos, el más abundante es el rorcual común. No ocurre como con el delfín común. Éste hace honor a su nombre. Se halla en toda la cuenca occidental del Mediterráneo; de la parte oriental se tienen muy pocos registros. Los datos acumulados en los últimos años por colegas franceses hacen pensar en una migración estacional.[16] Du-

(12) L. Companyo «Histoire Naturelle des Pyrénées Orientales» Tomo III, Perpignan 1863.
(13) M. Graells *Mem. R. Acad. Cienc. Ex. Fis y Nat., 23,* 3, 115 p., 1889.
(14) P.J.H. van Bree *Z. Säugetierkunde, 42,* 2, 101-107, 1977.
(15) A. Casinos, J.-R. Vericad *Mammalia, 40,* 2, 267-289, 1976.
(16) R. Duguy, D. Vallon *Rapp. Comm. int. Mer Médit., 24,* 5, 21-24, 1977.

Rorcuales y cachalotes los gigantes del Mediterráneo.

rante el mes de junio, un gran número de esos animales se concentrarían entre Córcega y las costas del continente. Gracias a la colaboración de los navíos de línea regular entre el sur de Francia y Córcega y el Norte de África se han registrado entre 1972 y 1976, 478 observaciones, sobre unos 1027 animales. A partir de esas cifras, se ha estimado una población de unos 400 rorcuales comunes durante el período estival en la zona del Mar Ligur, hasta la altura de Roma. Estos datos, complementados con los obtenidos en base a los varamientos, nos dicen bastante sobre la biología de la especie en el Mediterráneo. Así, parece ser que los nacimientos se producen en octubre, siendo el tamaño de los recién nacidos de la población mediterránea siempre menor que la media atlántica (600 cm).

De todos los demás balenoptéridos, parece que tan sólo el rorcual de aleta blanca puede considerarse como perteneciente a la fauna mediterránea. De la jibarte conocemos solamente tres varamientos, todos ellos del siglo pasado. Un ejemplar de rorcual norteño varó no hace muchos años (1973) en el delta del Ebro, y esta cita es la única segura para el Mediterráneo.

La situación del rorcual de aleta blanca en la cuenca mediterránea merece, a mi entender, una referencia particular. Es un buen ejemplo de la necesidad de una visión integradora en lo que al estudio de la fauna se refiere. Durante unos cuantos años, tanto en España como en Francia hemos estado creyendo que ese cetáceo era prácticamente inexistente en el Mare Nostrum. Con gran sorpresa se ha podido constatar la existencia de dos varamientos conocidos en Túnez, así como bastantes animales hallados u observados en las costas italianas, principalmente las del Tirreno. Hay que recurrir de nuevo al hecho de la corriente atlántica de penetración como agente causal de esa concentración de la especie, quizá sólo estival, en el centro del Mediterráneo.

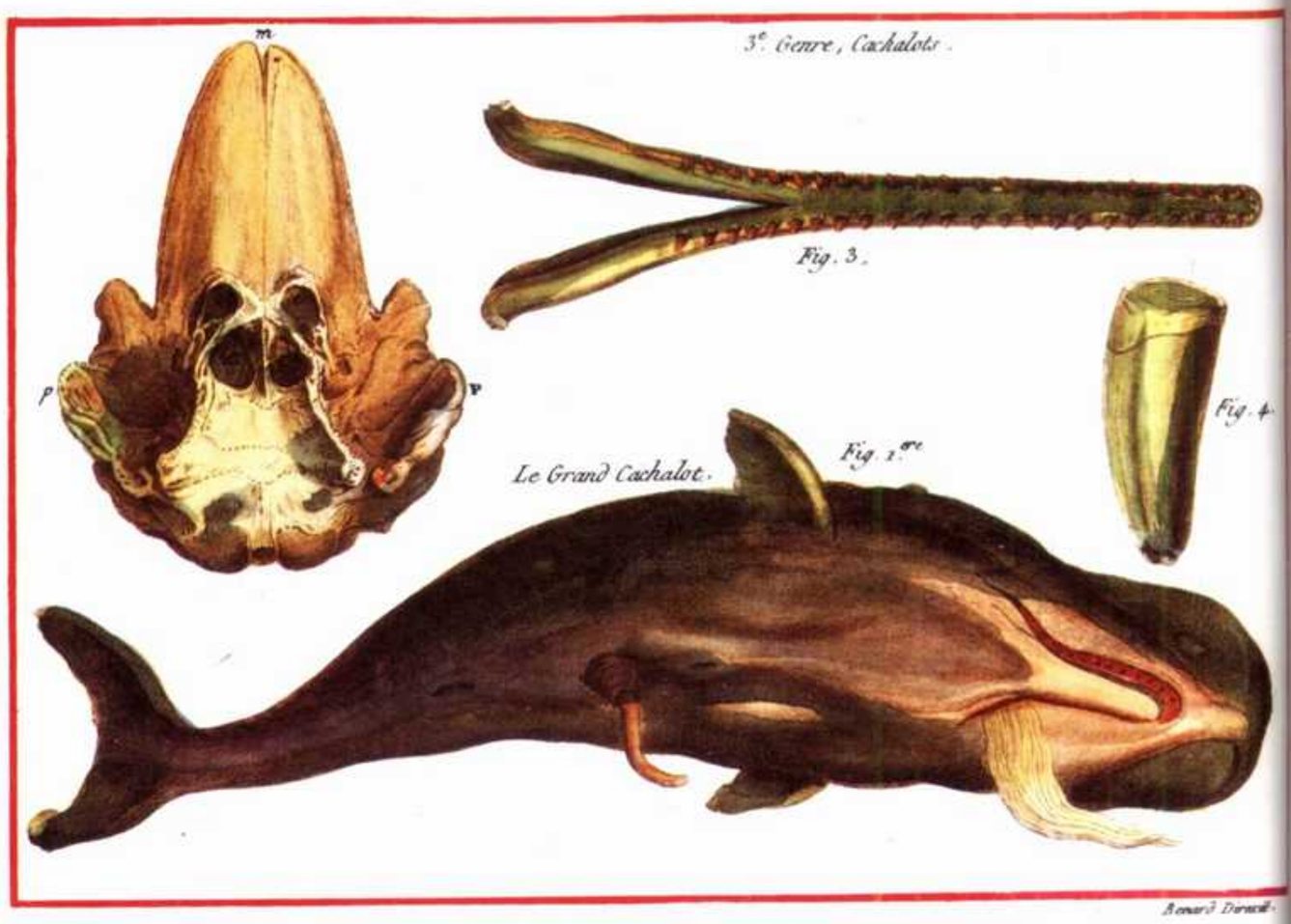


Figura 6. **En este bello grabado del siglo XVIII, el autor nos muestra un cachalote en visio ventral, así como diversos detalles: la mandíbula inferior, un diente y una norma ventral de u supuesto cráneo de la especie.**
En la mandíbula inferior se puede apreciar que las dos ramas están unidas a lo largo de gran pa te de su longitud. Es lo que se llama una sínfisis mandibular larga. Puede verse también l implantación dentaria.
El dibujo del cráneo es muy confuso. Cierto que no presenta dientes en la mandíbula superio cosa que sucede en el cachalote, pero el cráneo en su conjunto se asemeja al de un calderón. E la nota inexacta del conjunto del grabado. Para compensarlo, un detalle que es, casi, un apunt del natural. El ejemplar, indudablemente un macho, aparece con el pene evaginado, hecho mu corriente en los ejemplares muertos.

«Moby Dick», el cachalote

A pesar de su tamaño, el cachalote es un odontoceto. Su mandíbula inferior, larga y estrecha a causa de una prolongada sínfisis, sostiene de 20 a 30 dientes por lado, pudiendo alcanzar 10 cm la parte que queda al descubierto.

A clarificar esta cuestión no contribuye precisamente la utilización que los anglosajones hacen del término «whale», cuya traducción castellana sería «ballena», pero que en inglés tiene un sentido mucho más genérico. Así, el cachalote recibe el nombre de «sperm whale» (literalmente, ballena de esperma).

En ese contexto no es extraña la confusión que ha habido siempre en torno a *Moby Dick,* la «ballena» blanca, el «leit motiv» (casi protagonista) de la novela homónima de Melville. Las referencias constantes a aquél, en dicha obra literaria, como «the whale» han hecho que circulen muchas malas traducciones que transcriban «la ballena». Quizá haya que hacer un aparte para decir que también las hay muy buenas, como la reciente de José Mª Valverde.

Por tanto, *Moby Dick* era un cachalote, un gran cachalote albino, cosa que además queda muy clara a través de las descripciones que hace el autor, perfecto conocedor de las costumbres, tradiciones y leyendas de los balleneros de Nueva Inglaterra.

En nuestras costas mediterráneas en particular contamos con testimonios muy antiguos de varamientos de cachalotes (V. fig. 6). En algunos casos esos testimonios tienen su anécdota. Así, reinando Felipe II fue cañoneado uno, cuyas mandíbulas se depositaron en las bodegas de El Escorial.

Vale la pena echar una ojeada sobre algunas de las costumbres del cachalote antes de entrar en detalle sobre la población mediterránea. Son de por sí bastante curiosas. Las manadas están estructuradas en harenes y es normal que la población de un determinad punto del globo realice migraciones pe riódicas que, mucho antes que por cien tíficos, fueron estudiadas para facilita su captura. Aquí hay que mentar de nue vo a «Moby Dick», donde literalmente s acude a una «cita», concertada por la migraciones, con el cachalote blanco

Determinadas circunstancias hace pensar que los factores ambientale influyen sobre la tarea del científico. As parece ocurrir con los colegas del Insti tuto de Zoología y Anatomía comparad de la universidad de Mesina. Sicilia, en el centro del Mediterráneo, ocupa una posición privilegiada para todo trabajo donde se intente controlar un fenómen migratorio. Desde hace unos treint años, en el citado centro se trabaj sobre los desplazamientos del cachalo te mediterráneo: así, los artículos d Bolognari[17,18] y las recientes recolec ciones de datos de Di Natale,[19] que en conjunto, pueden darnos cierta pers pectiva sobre las variaciones pobla cionales.

Bolognari postulaba tres posibles ru tas para la entrada y circulación de cachalote en el Mediterráneo occiden tal y central. La primera de ellas iría d Gibraltar a Sicilia, muy cercana a la costas norteafricanas, aprovechand quizá la corriente superficial de entrad

(17) A. Bolognari *Bull. Inst. Océanogr. Monaco, 949,* 44 p., 1949.
(18) A. Bolognari *Boll. Zool.,* XVIII, 4-5-6, 253-256, 1951
(19) A. Di Natale *Réunion-intersession du Groupe de travail sur les Mammifères Marins C.I.E.S.M.,* 9 pp., 1979 (xerox).

que ya he mencionado en repetidas ocasiones, para luego remontar a través del Jónico y del Adriático. El regreso se llevaría a cabo tanto por el estrecho de Mesina como por el de Sicilia (entre esa isla y Túnez). Las dos rutas se unificarían al sur de Cerdeña.

Las otras dos rutas migratorias serían mucho más cortas. Una de ellas transcurriría entre la península Ibérica y las Baleares, hasta el Mar Ligur, estando situada la trayectoria de vuelta entre las Baleares, Córcega y Cerdeña. La otra permitiría a los cachalotes alcanzar el golfo de Génova, remontando el Tirreno muy cerca de las costas peninsulares italianas, para descender luego paralelamente a los litorales orientales corso y sardo. Para Di Natale, la primera de las tres rutas sería la más probable, si bien deja bien claro que dispone todavía de datos muy fragmentarios. Es muy probable que los 30 años transcurridos hayan podido modificar profundamente las costumbres migratorias del cachalote, de la misma manera que han modificado la estructura de la población. Cada vez es más difícil observar manadas importantes, y a primera vista parece que los machos se han vuelto un tanto monógamos, a juzgar por la ausencia de harenes. En líneas generales cabría inferir que ha habido una disminución importante de la población motivada quizá, entre otras cosas, por las capturas en las latitudes vecinas del Atlántico, reservorio del que debe nutrirse la población mediterránea, sin lugar a dudas.

Los calderones

Normalmente se utiliza este nombre para designar a unos cetáceos de tamaño medio, entre 4 y 6 m, con una cabeza muy característica: ausencia de morro, conjunto de aspecto globoso, frente prácticamente vertical.

En el Mediterráneo se han registrado hasta ahora dos calderones, el común *(Globicephala melaena)* y el gris *(Grampus griseus)* (V. fig. 7). Hay una tercera especie que quizás algún día hallaremos. Se trata del calderón de aleta corta o calderón tropical *(Globicephala macrorhynchus).* Se parece mucho al común, tal como puede presumirse por el hecho de pertenecer al mismo género, diferenciándose por tener aletas pectorales más cortas (menos de una quinta parte de la longitud total del animal) y por faltarle a la altura de la garganta una mancha blanca que es muy visible en el calderón común. Dicha especie, que en principio habita las aguas tropicales o subtropicales, alcanza en alguna ocasión latitudes más frías que las mediterráneas, como la costa atlántica francesa.

Los sondeos efectuados en el Mediterráneo ibérico nos han puesto ante la evidencia de que nuestros pescadores no diferencian el calderón gris del común. Esto quizá pueda sorprender, dado que si bien existe una cierta semejanza morfológica, la pigmentación es muy diferente. Pero hay que tener en cuenta que la tonalidad y diseño se alteran en los cetáceos muy rápidamente, una vez que el animal está en seco. A veces, un calderón común aparece como despigmentado como consecuencia de que la erosión mecánica ha alterado completamente la parte más externa de la epidermis. En estas circunstancias, no es sorprendente que durante largos años no se haya catalogado el calderón gris entre las especies de nuestra fauna (véase, por ejemplo, Cabrera).[20]

El calderón común es una especie que periódicamente atrae los titulares de los periódicos por sus «suicidios». Se trata de los varamientos masivos que tienen lugar en diferentes zonas del planeta. Los animales se desplazan normalmente formando manadas, integradas en casos extremos por varios centenares de individuos, por lo común conducidos por un macho viejo. Si éste sufre un error y se introduce en una zona de aguas someras, por ejemplo, todo el grupo queda atrapado. En esto consisten los susodichos «suicidios». Sin embargo, hay que hacer notar que en la cuenca mediterránea este fenómeno es rarísimo, quizá porque las mareas apenas son perceptibles.

En los últimos años nuestros conocimientos sobre esa especie han avanzado bastante. Parece ser que está presente tan sólo en la parte occidental de nuestro mar, donde existirían dos poblaciones diferentes: una de ellas se extendería a lo largo de las costas argelinas y de las meridionales españolas hasta, aproximadamente, la altura de Valencia; la otra se concentraría en el Mar Ligur, experimentando esta última variaciones estacionales importantes. Si durante la mayor parte del año estarían sólo presentes pequeñas bandas muy dispersas, al llegar el mes de julio pueden llegar a ser de 200 ejemplares.[21] Procede resaltar la coincidencia en tiempo y lugar de las concentraciones de rorcuales y calderones comunes, debidas posiblemente a afloramientos estivales que producen una zona particularmente rica en alimento.

Otras especies

Para acabar la descripción faunística me permito señalar como miscelánea tres especies cuya situación, aun cuando no presenta grandes problemas de interpretación, merece como mínimo un comentario.

La familia menos conocida de odontocetos es quizá la de los zífidos o hiperoodóntidos. En general se trata de animales habitantes de zonas marinas de una cierta profundidad, en razón de su alimentación a base de cefalópodos. Conservan tan sólo dos dientes, completamente vestigiales, uno en cada rama de la mandíbula inferior. Prueba de ello es que, con mucha frecuencia, no afloran en las hembras. La familia comprende seis géneros, que con la única excepción de uno *(Mesoplodon)* están representados por una o dos especies.

Tradicionalmente se había considerado que el único hiperoodóntido presente en el Mediterráneo era *Ziphius cavirostris.* Esta especie, que se conoce con el nombre de ballenato de Cuvier, aunque obviamente no tiene nada que ver con las ballenas, está presente en toda la cuenca, ya que se conocen diversas citas en la zona oriental. Podemos considerarlo como una especie común en las costas españolas. Concretamente, en la zona de Barcelona se han registrado diversos varamientos.

Las únicas referencias que se tenían en el Mediterráneo sobre otras especies de la familia guardaban relación con *Mesoplodon bidens.* No es nada extraño, pues, que cuando en febrero de 1979 se halló en la playa de Alcossebre (Castellón de la Plana) un ejemplar de *Mesoplodon densirostris,* la noticia fuera un verdadero acontecimiento. Aparte de ser la primera cita mediterránea, era la segunda europea (hacía un año exacto que se había recogido un ejemplar en la costa continental portuguesa) y uno de los treinta y tantos varamientos registrados a nivel mundial.[22] Hay que señalar que la dispersión de los pocos varamientos es muy grande (África del Sur, islas del Índico, Taiwan, costa atlántica norteamericana, Madeira, península Ibérica) lo que nos obliga a admitir que debe tratarse de una especie cosmopolita en aguas tropicales y templadas.

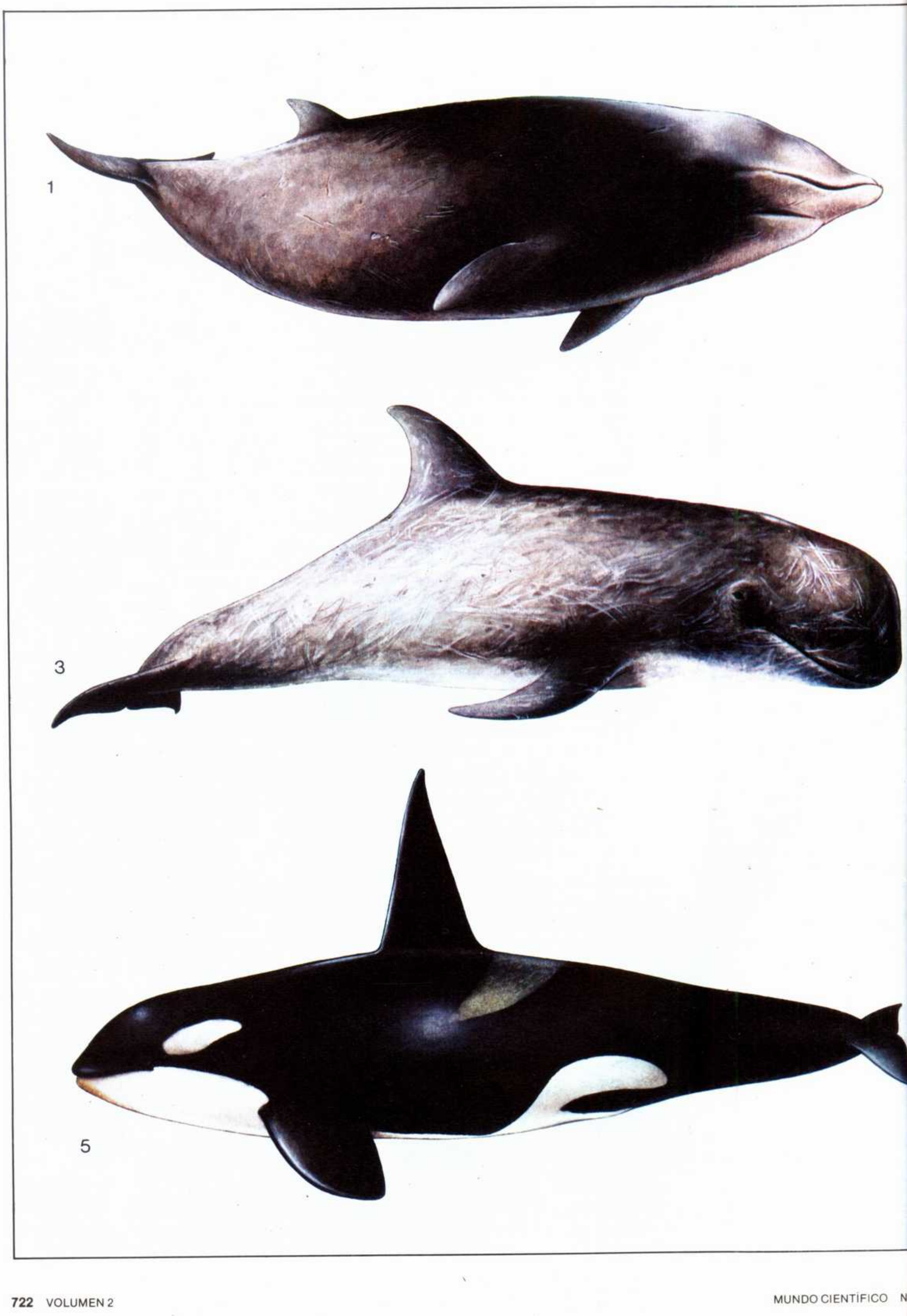
Como colofón voy a referirme a un animal casi mítico. La orca *(Orcinus orca)* ha sido siempre considerada como el más formidable depredador marino. A juzgar por los datos que tenemos, se ha hecho extraordinariamente rara. Es cierto que a juzgar por las observaciones debe estar presente en todo el Mediterráneo, pero en la actualidad un varamiento constituye un acontecimiento. El último comprobado en aguas ibéricas data de hace unos quince años y ocurrió en la isla de Menorca.[23]

La contaminación del Mediterráneo y los cetáceos

Las cifras puplicadas en los últimos años en relación con los niveles de con-

(20) A. Cabrera «Fauna Ibérica. Mamíferos». Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. Madrid 1914.
(21) D. Vallon, C. Cuigo, R. Duguy *Rapp. Comm. int. Mer Médit., 24,* 5, 25-26, 1977.
(22) A. Casinos, S. Filella *Säugetierkundliche Mitt., 29,* 4, 61-67, 1981.
(23) A. Casinos *Säugetierkundliche Mitt., 29,* 2, 80-81, 1981,

La gran aleta triangular de las orcas hace que se las identifique rápidamente en alta mar.



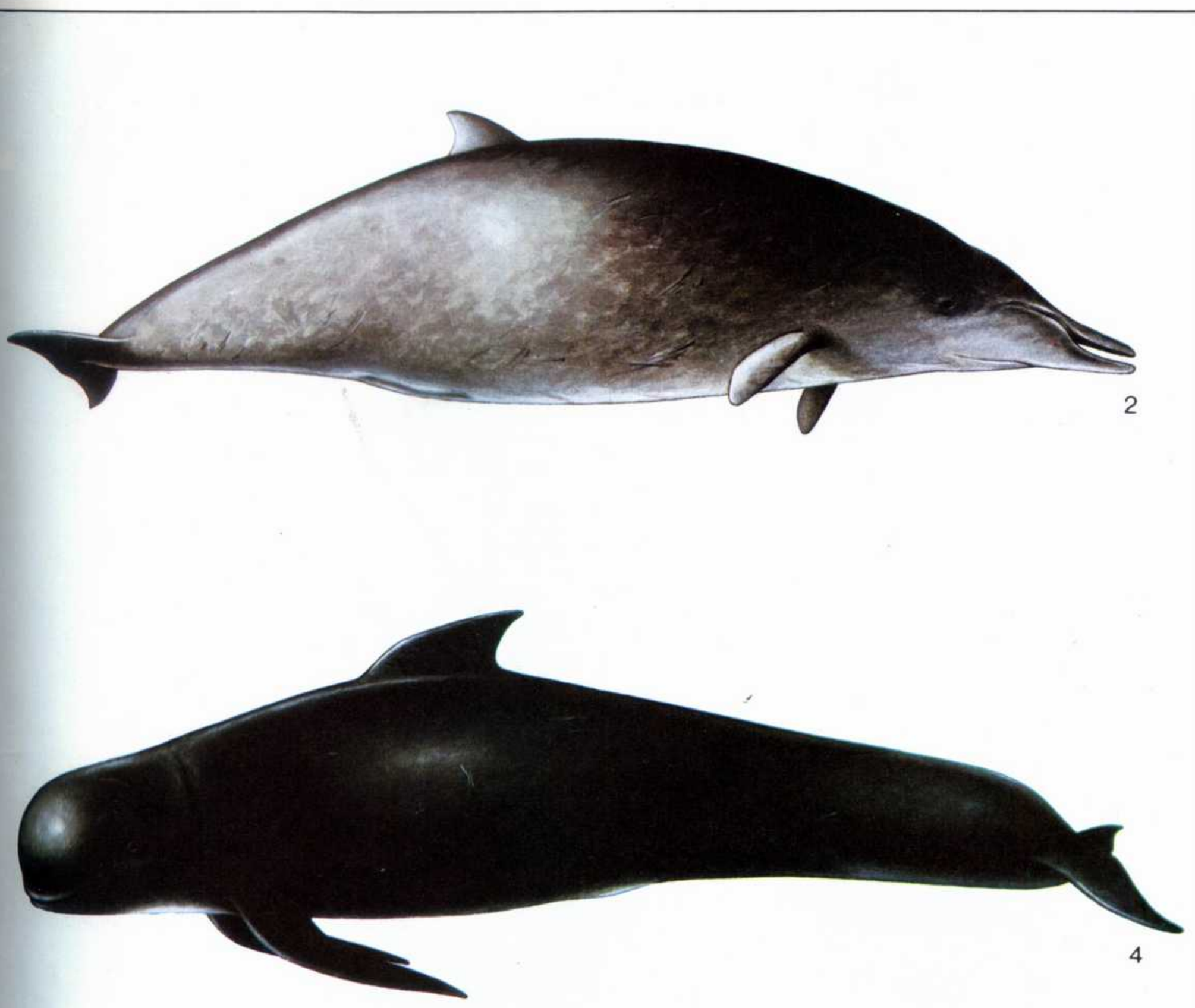


Figura 7. **Aparecen aqui cinco de las especies de las que se trata en este articulo. Veamos someramente algunas de sus caracteristicas.**
Ziphius cavirostris **(1) presenta una tonalidad general parda y muy uniforme, siendo las mandibulas y la garganta las zonas más claras. La talla media de un adulto oscila alrededor de 6 m.**
Como es de suponer, de la coloración de *Mesoplodon densirostris* (2) no tenemos demasiada información. El ejemplar varado en las costas mediterráneas ibéricas presentaba una tonalidad general gris ceniza. En el vientre habia zonas más claras distribuidas de forma irregular. La garganta era de color gris blanquecino, y las aletas pectorales y la caudal simplemente grises. Al parecer los adultos pueden sobrepasar 5 m.
Grampus griseus **(3) puede medir como máximo 4 m. Coloración muy caracteristica y uniforme a base de un gris no muy oscuro, cruzada por marcas semejantes a antiguas cicatrices. La mandibula inferior, la garganta y el vientre son mucho más claros, algunas veces casi blancos.**
Globicephala melaena **(4) alcanza una longitud media de 6 m. Puede verse que la coloración se corresponde con la descrita en el texto.**
Muchas veces se ha comparado la coloración de *Orcinus orca* (5) a la de una vaca: es uniformemente negra, salvo unas manchas blancas detrás de los ojos, la mandibula inferior, la garganta, el vientre y la parte de los flancos. A veces puede haber una supletoria, en forma de creciente, por detrás de la aleta dorsal. El blanco puede virar a amarillo. Los grandes machos pueden alcanzar 9 m. Una caracteristica importante, que hace a las orcas fácilmente discernibles en alta mar, es la gran aleta triangular de base muy estrecha.

¿Cuál es el futuro de los cetáceos mediterráneos?

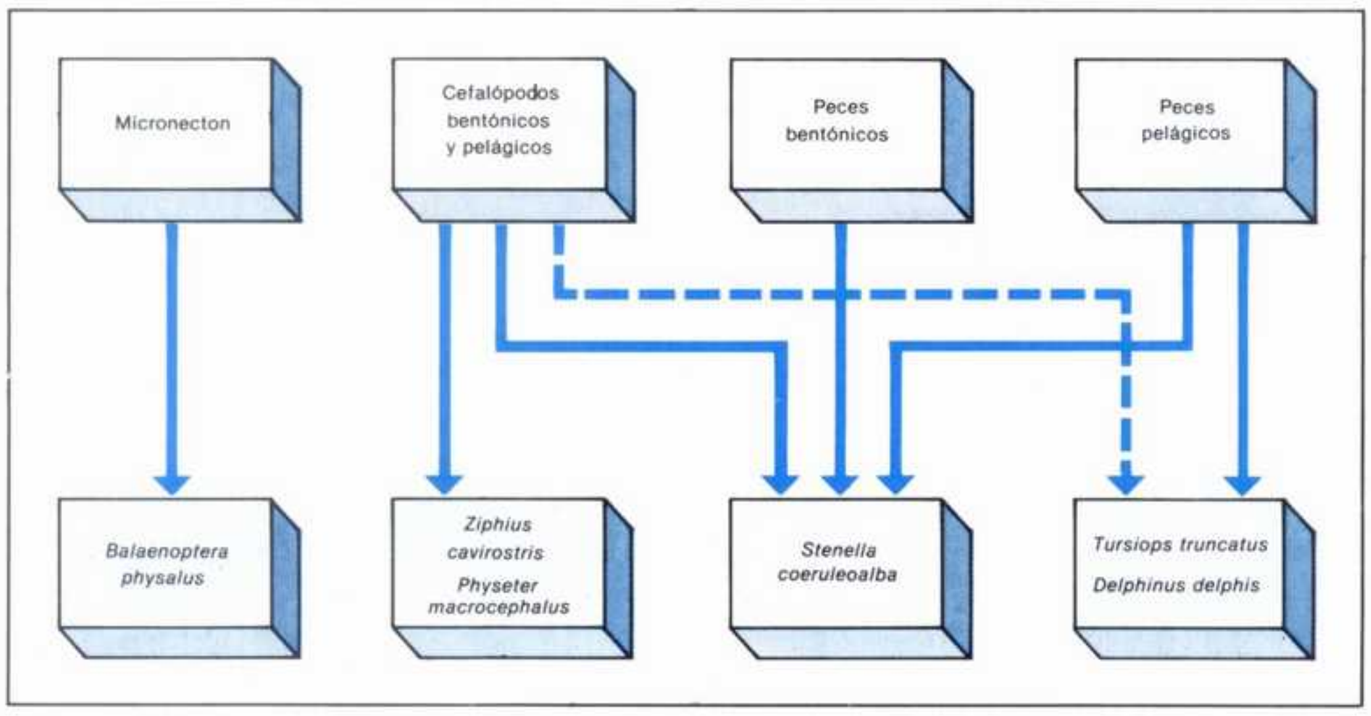


Figura 8. **Este esquema trata de reflejar las fuentes de alimentación de seis de las principales especies de cetáceos del Mediterráneo occidental. Una de ellas, el rorcual común *(Balaenoptera physalus)*, es completamente micrófaga. Otras dos, el ballenato de Cuvier *(Ziphius cavirostris)* y el cachalote *(Physeter macrocephalus)* son teutófagas, es decir, que se alimentan de cefalópodos de diferentes profundidades. El cachalote llega a capturar especies de calamares que viven a gran profundidad debido a su capacidad de inmersión verdaderamente extraordinaria; por esta razón, los análisis del contenido gástrico de esta especie son útiles para los estudios faunísticos de cefalópodos. Las otras tres especies son ictiófagas, depredando sea peces pelágicos (el delfín común, *Delphinus delphis*), sea tanto pelágicos como bentónicos (el delfín listado, *Stenella coeruleoalba*, y el mular, *Tursiops truncatus*). Sin lugar a dudas, es el delfín listado el delfínido de alimentación más diversificada entre las representadas, ya que es más teutófago. Las líneas continuas nos indican las relaciones tróficas principales; la de trazas, las secundarias.** (Según Viale, 1978, modificado.)

taminación en los cetáceos mediterráneos son tan preocupantes que merecen revisarse. Veremos a continuación datos que hacen referencia tanto al contenido en metales como al de organoclorados.

En 1978, una colega francesa, Denise Viale, publicó un estudio sobre el contenido en metales en los órganos de una quincena de cetáceos varados en las costas del Mediterráneo occidental.[24] El espectro de elementos metálicos investigados en piel, grasa, músculo, hígado, pulmón, riñón y encéfalo es bastante amplio (Fe, Ti, Cr, V, Cd, Pb y Hg). En el caso del hierro, se encontraron tasas anormalmente elevadas. Así, en el hígado había niveles hasta ocho veces mayores que lo que se considera el máximo admitido para la alimentación humana. En mercurio, también principalmente en el hígado, se encontraron dosis 1 500 veces superiores, con respecto a igual mínimo. De titanio, cromo y vanadio se hallaron valores 2,5 y 4 veces, respectivamente, mayores que las cifras conocidas hasta la fecha para animales marinos. Naturalmente, se trata siempre de valores máximos. En un estudio de esas características, como muy bien dice la autora, lo importante no son tanto los valores medios, como los extremos. En cualquier caso, lo que hay que retener es que los odontocetos consumen todas las especies marinas que alimentan al hombre, tal como puede deducirse de la figura 9. *Stenella coeruleoalba,* el delfín listado, que, de las citadas por Viale, es la especie que parece tener una alimentación más diversificada, se nos revela muy sensible a la contaminación. Quizá por esto, y tal como ya hemos visto, ha desarrollado una particular estrategia defensiva.

Los resultados referentes a los compuestos organoclorados no parecen más tranquilizadores. En dos trabajos recientes[25,26] Alzieu y Duguy presentan datos obtenidos a partir de 87 y 34 ejemplares de mamíferos marinos, respectivamente. En dichos trabajos el material procedía mayoritariamente de odontocetos (80 y 33), contra cuatro misticetos (3 y 1) y cuatro pinnípedos (en el primer caso). Aparte de la amplitud total de la muestra, esos trabajos presentan el aliciente de comparar animales del Atlántico y del Mediterráneo. La identificación se ha limitado a los policlorobifenilos (PCBs) y al DDT y sus dos derivados, el DDE y el DDD. El interés estriba en que ninguna de esas sustancias existe en la naturaleza. En consecuencia, su cuantificación es un buen indicador del grado de contaminación del medio por la actividad humana.

Los resultados obtenidos por Alzieu y Duguy pueden resumirse de la siguiente manera. Los animales inmaduros presentan valores más altos que los adultos de la especie correspondiente. En ese sentido, la contaminación afecta ya al feto y a las crías, a causa del paso a través de la placenta y de la leche materna. Una prueba de ello es que se ha encontrado casi el mismo nivel de PCB en el hígado de una hembra gestante de delfín común (3,9 mg/kg) que en el del feto (2,7 mg/kg). Para los autores citados, los PCBs podrían ser los responsables de un buen número de abortos. Tanto para esos compuestos como para el DDT, los valores máximos hallados para el tejido adiposo, el hígado y los pulmones se refieren en general a animales varados en las costas mediterráneas. Las concentraciones máximas las dan las especies omnívoras (estos datos coinciden con los de Viale) y la demostración es que, en general, los valores más altos de PCB en grasa, tejido hepático, músculo, riñón y estómago se hallaron en un espécimen de delfín listado. El contraste vendría dado por los misticetos. De todo el material examinado son los que, globalmente, presentan los valores más bajos de contaminación por organoclorados. La causa debe ser lo escasamente contaminado que está el plancton, base de su alimento.

Tampoco este apartado, tal como ocurría con el faunístico, queda cerrado. Harían falta controles periódicos para verificar estos primeros resultados y observar las variaciones temporales. A partir de aquí, se podría plantear el problema de la significación de esos datos. Lo que es indudable es que la contaminación varía en función del lugar y de la alimentación y, en ese sentido, los cetáceos son un grupo sumamente interesante, ya que dentro de él hay desde especies que se alimentan sobre eslabones muy inferiores de la cadena alimenticia hasta otras que tienen una alimentación muy diversificada entre las especies ictiófagas. ■

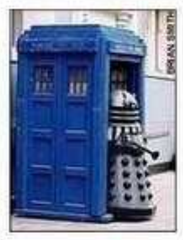
(24) D. Viale *Ann. Inst. océanogr., 54,* 1, 5-16, 1978.
(25) Cl. Alzieu, R. Duguy *Oceanol. Acta, 2,* 1, 107-120, 1979.
(26) Cl. Alzieu, R. Duguy *C.I.E.M.*, C.M. 1981/N:8, 4 pp., 1981 (xerox).

Para más información:

■ R. Duguy, D. Robineau, *Guide des mammifères marins d'Europe,* Delachaux & Niestlé, 1982.
■ S. Leatherwood, D.K. Caldwell, H.E. Winn, *Whales, Dolphins, and Porpoises of the Western North Atlantic. A Guide for Their Identification,* NOAA, 1976.
■ W.F.J. Mörzer Bruyns, *Field guide of whales and dolphins,* N.V. Uitgeverij v. h. c. a. mees, 1971.
■ A.G. Tomilin, *Mammals of the USSR and adjacent countries,* Israel Program for Scientific Traslations, 1967.
■ D. Truitt, *Dolphins and porpoises: a comprehensive, annotated bibliography of the smaller cetacea,* Gale Research Company, 1974.
■ Varios autores, *Relació de cetacis a les costes espanyoles citats fins l'any 1979,* Museu de Zoologia, Ajuntament de Barcelona, 1981.

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/

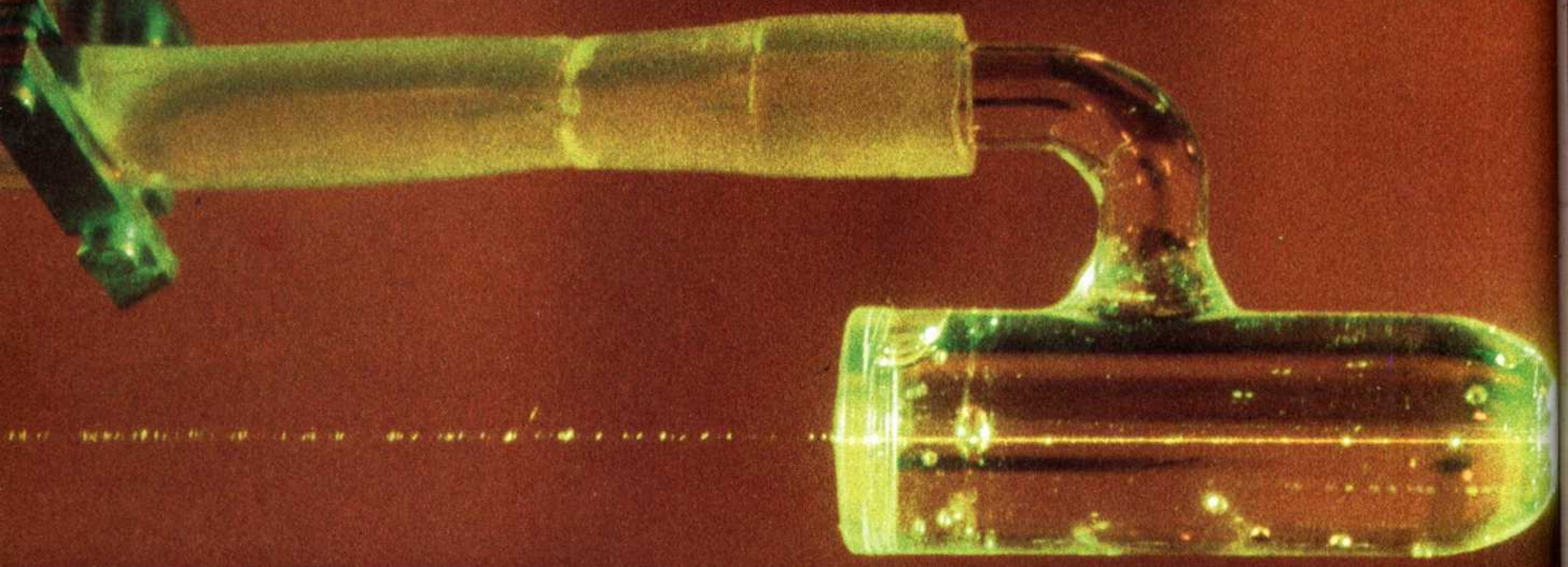
Las anomalías del agua

por C. Austen Angell

■ **Aunque el agua es el líquido más corriente, no es el de estudio más sencillo. Tras dos cientos años de investigaciones, no todas las anomalías de su comportamiento se han dilucidado por completo. ¿Por qué el hielo es menos denso que el agua? ¿Cuándo se comporta el agua como un ácido fuerte, hasta el punto de disolver el oro y el platino? ¿Cuáles son las propiedades de esos extraños estados de agua vítrea, agua sobrecalentada y agua subenfriada?**

■ **Hoy los investigadores tienen respuestas más o menos elaboradas, pero queda una cuestión: ¿por qué la naturaleza ha reservado las propiedades más raras a su elemento líquido más abundante?**

C. Austen Angell es profesor de química en la universidad de Purdue en el estado de Indiana.



■ A menudo se pregunta uno qué puede descubrirse de nuevo acerca del agua. Estudiada desde hace más de doscientos años, el agua tiene en su haber más publicaciones y análisis teóricos que cualquier otra sustancia, no importa cuál sea.

Por otra parte, la experiencia demuestra que tras haber creído agotado un tema, se revela un aspecto desconocido del mismo, que a la vez conlleva planteamientos inéditos. En el caso del agua, dada su importancia natural e industrial, los nuevos descubrimientos son frecuentes.

Por ejemplo, desde el punto de vista químico, es interesante constatar que el agua puede comportarse como un ácido fuerte y disolver el oro y el platino cuando interactúa con ciertas especies químicas.

También el comportamiento físico del agua es hoy foco de interés y las conclusiones más pertinentes se deducen dando un nuevo significado a antiguas observaciones. Aparecen así nuevos fenómenos, cuya explicación precisa del descubrimiento de un concepto sintético global.

Hablemos también del agua en un estado llamado vítreo, cuya existencia puede constatarse por la deposición de moléculas de agua a partir de la fase gaseosa. Estos trabajos, reconocidos actualmente, constituyen un nuevo campo de investigación.

Antes de descubrir y explicar los recientes descubrimientos que prueban el carácter extraordinario del agua en campos hasta ahora inexplorados, empezaremos por observar su comportamiento entre 0 y 100 °C, y dado que esos nuevos fenómenos cursan a nivel molecular, atenderemos precisamente a éste.

La experiencia cotidiana: primera aproximación

La primera y más conocida característica del agua puede observarse con un sencillo experimento. Llenemos tres vasos, cada uno con un líquido molecular parecido a los otros dos. El primero contiene agua, H_2O; el segundo peróxido de hidrógeno, H_2O_2; y el tercero hidracina, H_4N_2, líquidos con temperaturas de ebullición y de cristalización próximas. Otro punto en común: los tres son hidruros de un mismo elemento, el oxígeno (O), o de su vecino más cercano en la tabla periódica de los elementos, el nitrógeno (N). Ciertamente, lo más no-

Figura 1. **El comportamiento anormal del agua sólo puede ponerse de manifiesto utilizando muestras muy pequeñas y muy puras, sobre todo cuando se trata de agua sobreenfriada o sobrecalentada. Vemos aquí un diseño experimental de laboratorio, gracias al cual y mediante la ayuda de un rayo laser axial se estudian las propiedades del agua sobreenfriada contenida en un capilar de un milímetro de diámetro.**

table es que sólo el producto de cristalización del agua flota en la superficie del líquido: el agua cristalizada, el hielo, es menos denso que el agua líquida. Las similitudes químicas, y el hecho de que en los tres casos, las interacciones entre moléculas sean puentes de hidrógeno no permiten comprender por qué sólo el agua cristaliza ocupando más volumen que en el estado líquido. Claramente, algo extraño ocurre en la ordenación de las moléculas en el seno del cristal. Vamos a explicarlo a continuación. Recordemos, con todo, que algunas decenas de especies químicas se comportan así.

Por contra, el agua es casi única desde el punto de vista de la variación de su densidad con respecto a la temperatura T (fig. 2). El experimento consiste en sumergir una bola de densidad ligeramente superior a la del agua a 0 °C. El hecho de que la esfera suba a la superficie del líquido cuando la temperatura aumenta de 0 a 4 °C demuestra que la densidad del agua aumenta. Si la temperatura sobrepasa 4 °C, la esfera retorna progresivamente al fondo del vaso: así, la densidad del agua disminuye cuando la temperatura aumenta. Acabamos de poner de manifiesto la existencia de un máximo en la curva de variación de la densidad del agua en función de la temperatura (dejamos para más adelante la zona por debajo de 0 °C). Entre los millones de líquidos conocidos, sólo hay tres que presenten este comportamiento. El antimoniuro de indio (InSb) es uno; los otros dos son sustancias poco corrientes.

La idea de líquido se asocia a menudo en nuestras mentes con la idea de un fluido en movimiento. Este flujo es posible si el líquido puede cambiar de forma sin ayuda de grandes fuerzas externas, es decir si las moléculas pueden avanzar desplazándose unas sobre otras. Así, la gravedad es suficiente para permitir el flujo y ello permite el transporte de objetos por líquidos. La resistencia al flujo se mide por la viscosidad: cuando disminuye el espacio de que disponen las moléculas para deslizarse unas sobre otras, la viscosidad aumenta. Un líquido que se comporte normalmente se hace más viscoso cuando está sometido a presiones que obligan a las moléculas a comprimirse. El agua sigue siendo todavía una excepción, puesto que cuando se la comprime empieza por volverse menos viscosa, en tanto la temperatura sea inferior a 50 °C; a temperatura ambiente es nece-

sario comprimir el agua a más de 1000 atmósferas, es decir, con una pérdida de volumen del 10 %, para que la viscosidad empiece a aumentar con la presión.

Acabamos de ver tres propiedades del agua que demuestran su carácter extraordinario. Hay otras, cuyas importantes repercusiones sobre los fenómenos naturales olvidamos a menudo. El hecho de que el agua puede absorber calor sin un gran cambio de temperatura es una de las razones de la benignidad de los climas costeros de la Tierra.

Esta propiedad traduce el hecho de que la capacidad calorífica del agua es excepcionalmente elevada frente a la de otros líquidos (aunque toda comparación en este terreno sea difícil, ya que depende de la elección de unidades). Digamos que es necesario tres veces más calor para elevar en 1 °C la temperatura de 1 g de agua que para 1 g de gasolina de coche (de octanaje «normal»).

Para finalizar esta revisión de las principales propiedades del agua, mencionemos su gran poder disolvente de las sales ionizadas, cuya prueba natural es la existencia de los lagos salados y de los océanos. Esta propiedad se traduce por la constante dieléctrica del agua, que es una medida de la disminución de las fuerzas eléctricas existentes entre los iones cuando son sumergidos en el líquido, con respecto a las que existen entre los mismos cuando están en el vacío. A temperatura ambiente, esta constante es de 80 para el agua, mientras que es de 5 para la gasolina, que no puede disolver ni una mínima cantidad de sal. El agua es, con mucho, el mejor disolvente de sustancias ionizadas, aunque ello no se debe tan sólo a su elevada constante dieléctrica.

Cuando el agua (muy buen aislante en estado puro) contiene sales en solución, se convierte en un excelente conductor eléctrico; sin embargo, veremos más adelante que el agua pura misma, bajo ciertas condiciones, puede llegar a ser mejor conductor que cualquier otra solución salina a temperatura ambiente. Todo depende de la estructura de la molécula del agua.

De la configuración de las moléculas a la estructura del agua

Una molécula de agua (H_2O) está formada por un átomo de oxígeno al que se hallan unidos dos átomos de hidrógeno por enlaces covalentes simples (compartimiento de un par de electrones). Su estructura es muy parecida a la de las moléculas de amoníaco (NH_3) y de metano (CH_4), como demuestran los esquemas de la figura 3. En el caso del metano, los cuatro pares de electrones que rodean al átomo de carbono son compartidos con cuatro átomos de hidrógeno. Esta ordenación tiene la forma de un tetraedro centrado sobre el carbono. Los casos del amoníano y del agua son algo distintos; el equilibrio químico se alcanza con sólo tres y dos átomos de hidrógeno respectivamente, unidos al átomo central por medio de tres y dos pares de electrones compartidos. Sin embargo, la estructura tetraédrica se conserva casi por completo, y el (o los) par(es) de electrones no implicado(s) en los enlaces covalentes forman dobletes libres.

Para comprender las anomalías del comportamiento del agua hay que tener en cuenta esta distribución de cargas en el seno de la molécula. Se puede considerar que una molécula de agua lleva dos cargas positivas y dos cargas negativas repartidas aproximadamente en los vértices de un tetraedro centrado en el oxígeno. Las dos cargas negativas proceden de los dos pares de electrones libres y las dos cargas positivas se deben a los átomos de hidrógeno que, al unirse al oxígeno, le «ceden» su electrón y compensan esta pérdida con un carácter positivo. La consecuencia importante de esta distribución es que, al agruparse las moléculas de agua, cuando un centro de carga dado se asocie a un centro de carga opuesto perteneciente a otra molécula de agua, la energía electrostática se minimizará y, por consiguiente, se favorecerá la agrupación. La asociación entre centros de carga opuestos de moléculas distintas recibe el nombre de *enlace o puente de hidrógeno:* O... H.

Para que cada molécula de agua tenga sus cuatro centros unidos a otras cuatro moléculas es necesario que las mismas se dispongan según una geometría muy abierta. La ordenación resultante comporta grandes agujeros, es decir, que la materia ocupa el espacio dejando en él grandes vacíos. La estructura del hielo corriente se ajusta a esta descripción (fig. 4A). La combinación de este gran volumen y la débil energía de cohesión, determinada a su vez por la distribución de cargas, es la responsable de las anomalías antes citadas.

Veamos cómo el hielo se vuelve líquido: en el momento en que la temperatura sobrepasa 0 °C, el cristal se vuelve inestable. Los puentes de hidrógeno que mantienen la rigidez de la red tetraédrica no son suficientemente fuertes para luchar contra la energía que aporta la temperatura, y se hacen cada vez más laxos. Al mismo tiempo, los ángulos entre los átomos de oxígeno (104 °C) se deforman. La estructura líquida aparece como una red de moléculas en perpetuo movimiento. Es como si las moléculas no pudieran dejar de moverse, buscando encontrar localmente el estado de coordinación tetraédrica que las estabilice.

Comprendemos ahora por qué el hielo flota sobre el agua: para cristalizar, el agua debe orientar todos los ángulos O-H...O a 180 °C, es decir con la máxima apertura. Esta disposición es la que ocupa un mayor volumen y la que proporciona la menor densidad. La máxima densidad a 4 °C se explica en los mismos términos. A baja temperatura los movimientos debidos a la agitación térmica no son muy violentos, y las moléculas tienen mayor facilidad para alcanzar la estructura abierta del hielo a medida que decrece la temperatura. Sin embargo, también a baja temperatura se compactan las moléculas, al disminuir los *movimientos vibratorios.* Este efecto se observa con frecuencia en los sólidos, cristalizados o no. A 4 °C, los dos fenómenos opuestos se compensan, y la densidad varía con la temperatura a un lado y otro de este punto según que domine uno u otro de ellos.

Podría visualizarse una representación de la estructura del agua con respecto a la del hielo si fuera posible fotografiar las moléculas a una cadencia de 10^{13} imágenes por segundo para eliminar las vibraciones moleculares. El análisis de estas tomas revelaría que los anillos de 6 átomos de oxígeno del hielo se degradan dando anillos de 5, 6 y 7 átomos (fig. 4B). Esta deformación, sugerida por J. D. Bernal y R. H. Fowler en 1933[1], ha sido sostenida vivamente por A. Rahman, del Argonne National Laboratory, y por F. H. Stillinger, de los laboratorios Bell, en sus estudios acerca de los movimientos moleculares mediante simulación con ordenadores, hace una decena de años[2].

El agua sobrecalentada vaporiza a más de 280 °C

Tras esta visión elemental del agua molecular, cristalizada y líquida, nos interesaremos por los estados metaestables del agua, más allá del campo de investigación tradicional. Los conocimientos en dicho terreno son muy recientes, puesto que es necesario disponer de medios técnicos muy complejos que utilizan muestras muy puras o muy pequeñas.

La tendencia de los líquidos a sobrecalentarse, es decir a permanecer líquidos por encima de su temperatura normal de ebullición, es la causa de graves problemas para los ingenieros, especialmente los que trabajan en plantas de energía nuclear. En efecto, un líquido sobrecalentado, cuando se transforma en vapor libera la energía acumulada de forma explosiva.

La discusión científica de este pro-

(1) J.D. Bernal, R.H. Fowler, *J. Chem Phys., 1,* 515, 1933.
(2) A. Rahman, F.H. Stillinger, *J. Chem. Phys., 55,* 3336, 1971.

fig. 2

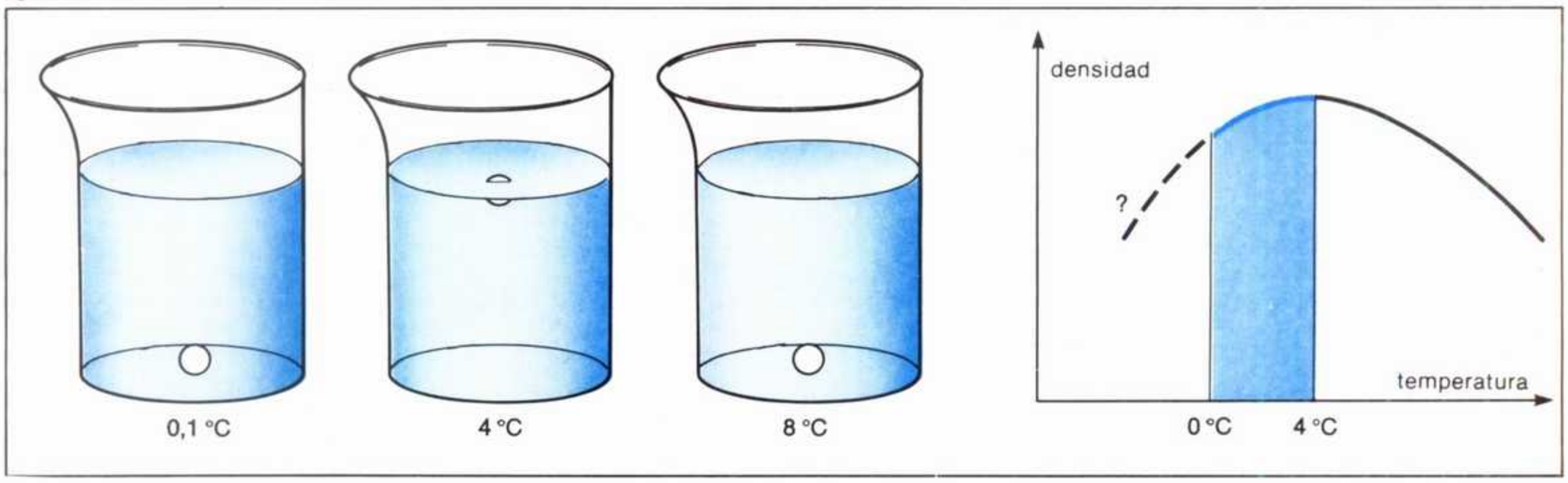


fig. 3

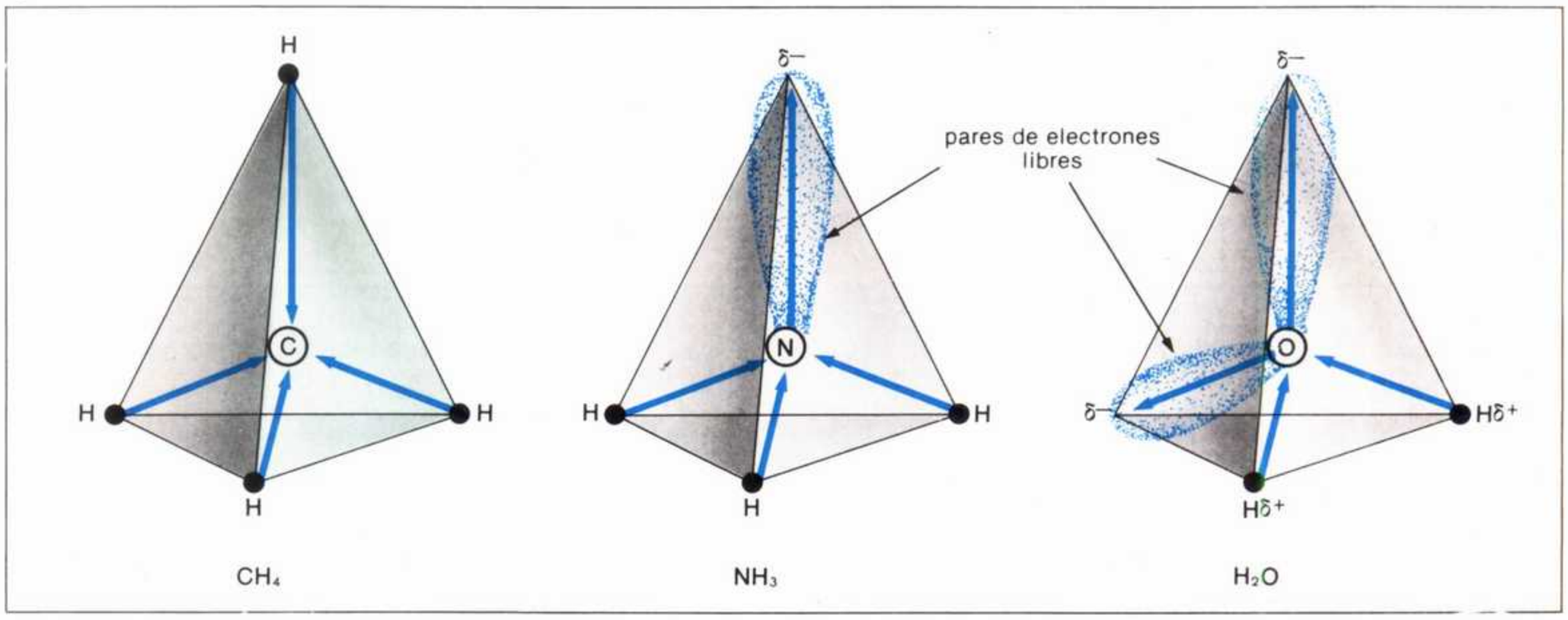


Figura 2. **La variación de la densidad del agua en función de la temperatura es casi única en el estado líquido. Cuando el hielo comienza a fundirse, la densidad debería disminuir. Ahora bien, cuando la temperatura sobrepasa 0 °C, se observa que la densidad aumenta hasta los 4 °C. Sólo por encima de 4 °C varía de forma normal, es decir, disminuye con la temperatura. El hecho de que la densidad sea máxima a 4 °C es una anomalía del agua, que podría ilustrarse con un sencillo experimento, pero de difícil realización, pues la variación de densidad entre 0 y 4 °C afecta sólo a la cuarta cifra decimal tras la coma. El principio es el siguiente: se sumerge una bola de 0.9999 g/cm³ de densidad en un vaso que contiene agua a 0 °C y se aumenta la temperatura progresivamente. La bola, que se encuentra en el fondo del recipiente a 0 °C, asciende progresivamente y aflora a la superficie a 4 °C, después vuelve a descender y, a 8 °C, llega de nuevo al fondo del vaso. Otro constituyente esencial de nuestro planeta, la sílice, se comporta de la misma manera a 1500 °C. En ambos casos, la estructura de la red y la configuración de las moléculas son las que justifican esta anomalía.**

Figura 3. **La estructura del agua sólo puede comprenderse si se conoce la estructura electrónica de su molécula (H_2O). Para ello hemos comparado la molécula de agua con otras dos, el metano CH_4 y el amoníaco NH_3, que son semejantes en el sentido de que siempre hay átomos de hidrógeno ligados a un elemento, C (carbono) o N (nitrógeno) de la misma fila del oxígeno en la tabla periódica. Los átomos C, N y O difieren por el número de electrones de valencia que poseen en su capa externa. El carbono C posee 4, el N tiene 5 y el O presenta 6, lo que significa que buscan recuperar respectivamente 4, 3 y 2 electrones para conseguir la estabilidad, es decir, para completar su capa externa con 8 electrones, como los gases nobles. ¿Dónde encontrar estos electrones? Formando enlaces con átomos de hidrógeno, por ejemplo, pues cada uno de ellos lleva un electrón. Así, C se rodea de 4 hidrógenos y da la molécula de metano, totalmente simétrica. El átomo N se rodea de 3 hidrógenos y el O de 2, pero las moléculas resultantes, NH_3 y H_2O, no son simétricas: NH_3 posee un par de electrones libres y la molécula de agua, H_2O, posee dos. Por último la molécula de agua presenta dos cargas negativas ($\delta-$) a nivel de los pares de electrones y dos cargas positivas ($\delta+$) centradas en los protones del hidrógeno. Esta distribución particular de las cargas es la que justifica el que las moléculas de agua tiendan a asociarse para constituir un modelo tetraédrico de geometría abierta** (fig. 4).

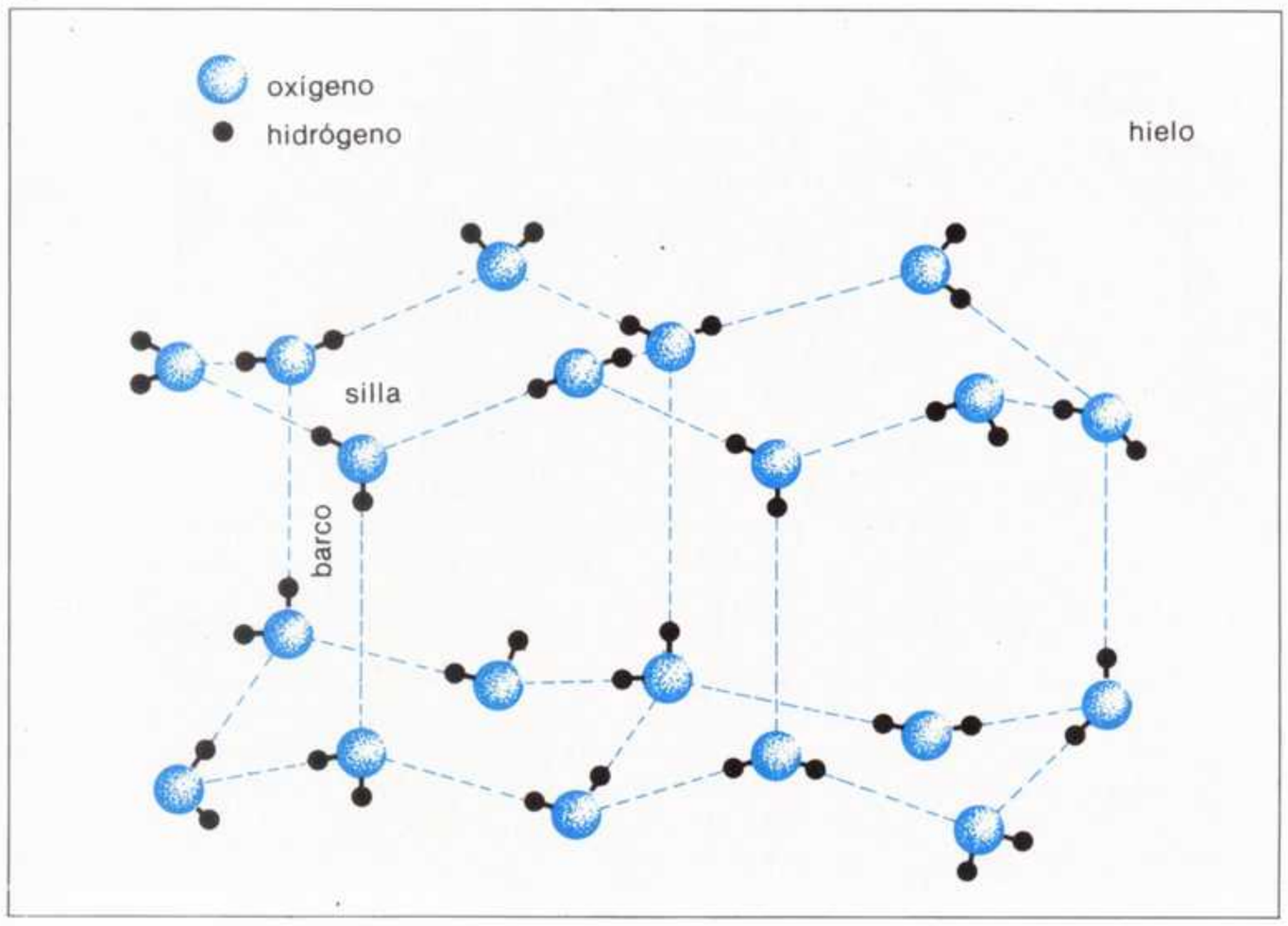
blema data ya de mucho tiempo, como lo demuestra este extracto de las «Transactions of the Royal Society» de 1739 (vol. 41, p. 162). El reverendo John Dayton relata las observaciones realizadas durante una visita a Sir Thomas Proby; el agua contenida en un recipiente a presión, sobrecalentada, pasó súbitamente a la atmosférica y «explotó como un escopetazo. Una sirvienta que había ido a ordeñar las vacas lo oyó desde muy lejos, y los criados dijeron que había sacudido toda la casa. La explosión arrojó fuera del fuego los pedazos de carbón, esparciéndolos por toda la estancia; el recipiente entero voló como una flecha, chocó con el tablero de la mesa, hecho con una plancha de encina de tres centímetros de grosor, y lo hizo estallar en pedazos, después de lo cual aún rebotó otra vez. Lo que más me sorprendió fue el ruido de la explosión, que no era el producido por la evaporación progresiva de un líquido sino, más bien, el que cabría esperar al arrojar al fuego pólvora de fusil. Además, no pude percibir la menor traza de agua en la habitación, aunque la busqué atentamente...».

Más recientemente, en 1972, R. E. Apfel, en la Universidad de Yale, sugirió otros experimentos (fig. 5) en los que se estudia la progresión de una pequeña gota de agua a través de una columna de aceite de silicona sometida a un gradiente de temperatura.(3) La gota sobre-

(3) R.E. Apfel, *Nat. Phys. Science, 238,* 63, 1972.

Algunas anomalías del agua se conocían ya en 1800; en 1982 se investiga aún para comprenderlas.

A



B

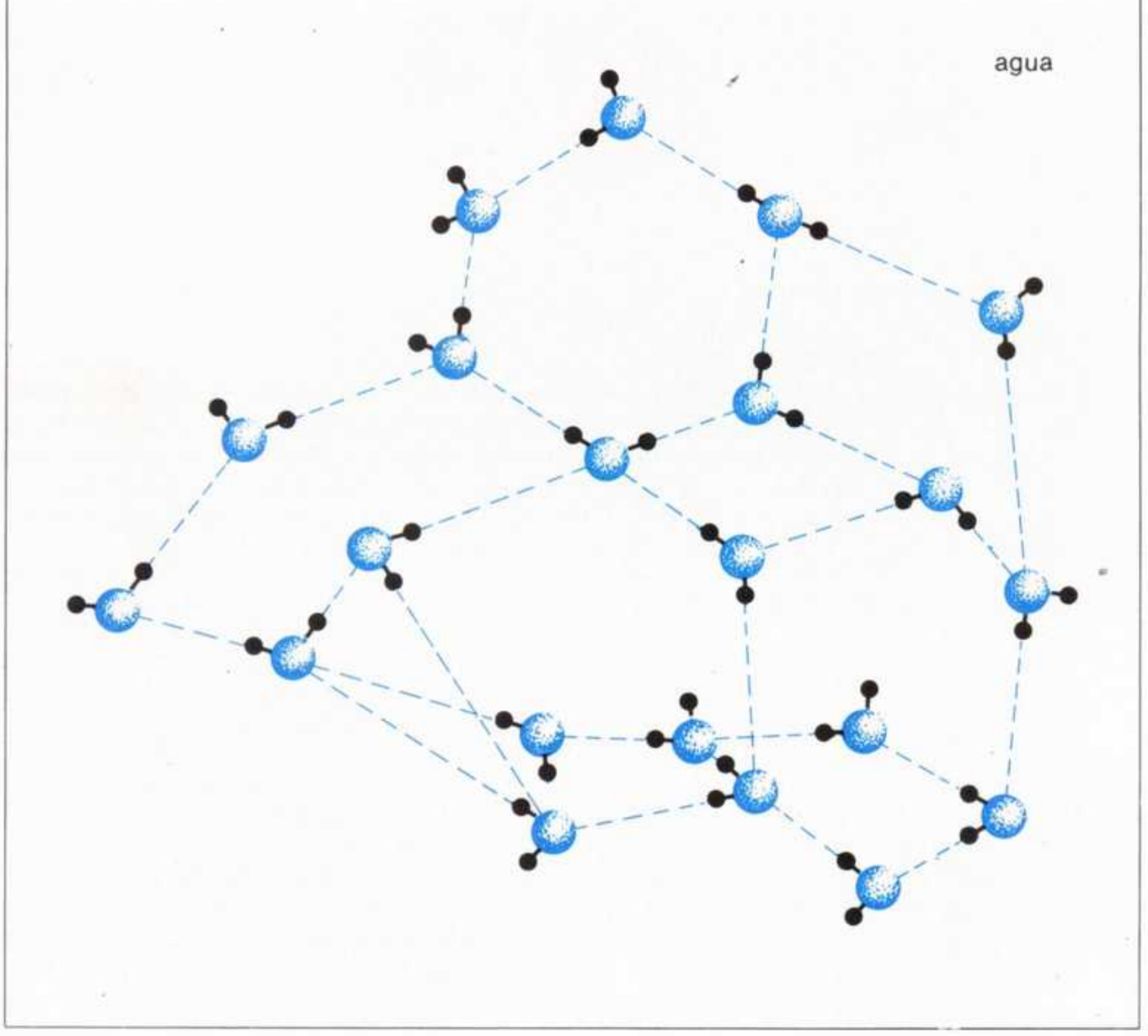


Figura 4. **En la fase líquida, las moléculas de agua se asocian según una geometría tetraédrica. En el hielo** (A), **estos tetraedros están unidos entre ellos y la red resultante es hexagonal. Se puede observar que los modelos cíclicos con seis moléculas adoptan dos configuraciones en el espacio, en forma de «silla» o de «barco». La combinación de tres barcos cubiertos con dos sillas forma una caja como la representada aquí. Cuando se calienta el hielo por encima de 0 °C, su red se desmorona y se desordena hasta el punto de que los ángulos O-O-O no superan 109 °C, como en el tetraedro, y de que la estructura es más compacta; por eso el agua es más densa que el hielo. La estructura que hemos representado para el agua es la que podríamos ver si consiguiésemos obtener una placa con un tiempo de exposición de 10^{-12} segundos** (B). **En efecto, en el agua las moléculas vibran a razón de 10^{12} movimientos por segundo y la imagen que damos de la estructura resulta, de hecho, de una simulación numérica de los movimientos moleculares. En cualquier caso, se observa que los anillos de seis moléculas totalmente regulares del hielo han sido remplazados por diferentes anillos de 5, 6 ó 7 átomos.**

pasa 100 °C, a los que debería vaporizarse normalmente, y asciende por la columna hasta más allá de 250 °C. No desaparece, con seca explosión, sino hacia los ¡280 °C! Aunque la presión haya sido todo el tiempo de una atmósfera, la gota ha permanecido líquida hasta una temperatura que sobrepasa en 180 °C su temperatura normal de ebullición. La famosa ecuación publicada por el físico holandés Van der Waals en su tesis de doctorado en 1876 da una primera explicación de este fenómeno. Van der Waals demuestra que el hecho de suponer, en la teoría cinética de los gases perfectos, que las moléculas de gas ejercen fuerzas unas sobre otras y ocupan un volumen finito conduce a prever que los gases se condensan necesariamente de forma discontinua hasta volverse líquidos, si el volumen que ocupan disminuye por un aumento de la presión externa y si la temperatura permanece inferior a un cierto valor «crítico».

Paralelamente, un líquido calentado se transforma discontinuamente en vapor a una temperatura determinada por la presión externa, siempre que ésta sea inferior a determinado nivel crítico.

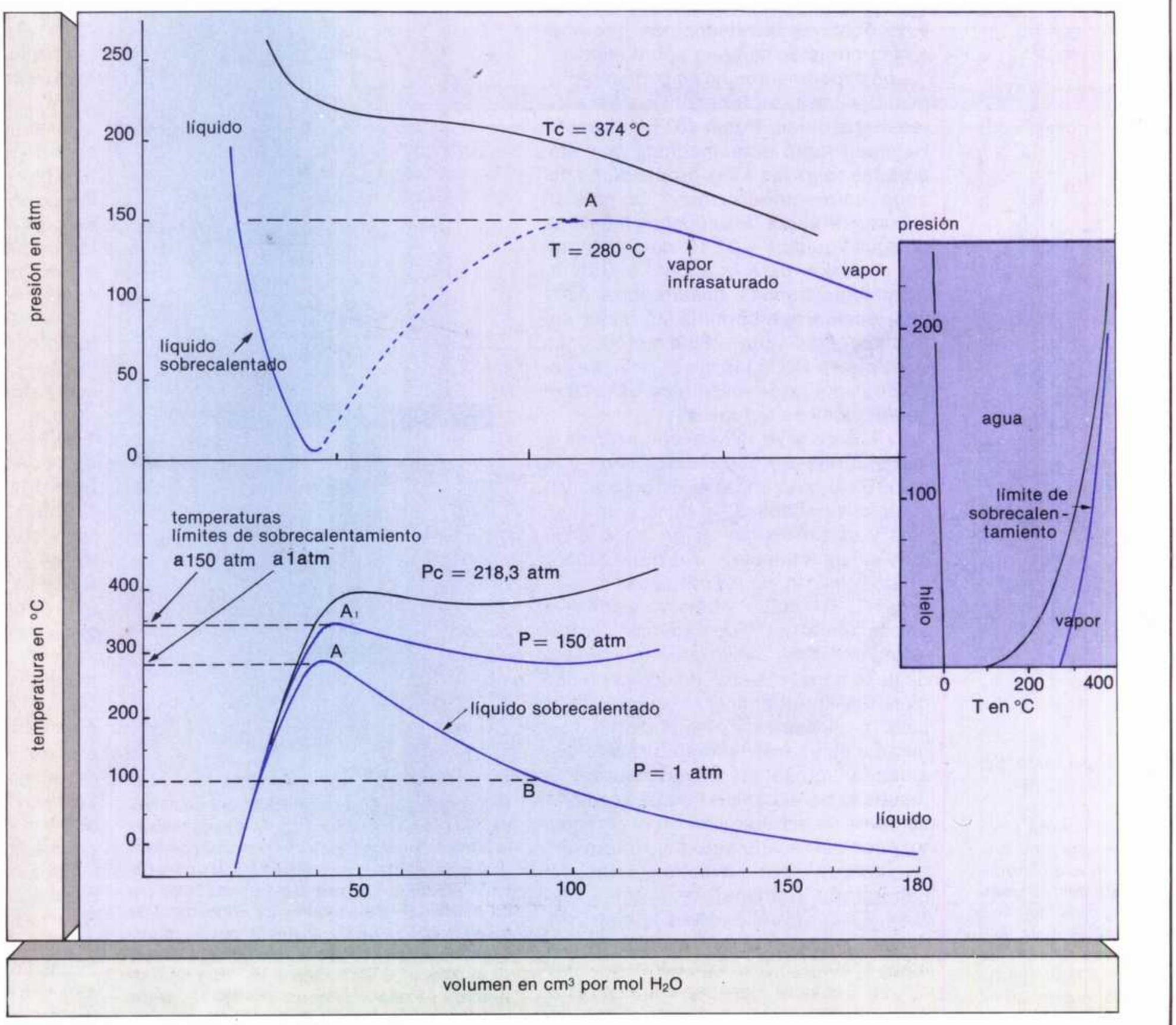
La ecuación no dice que esta conversión deba suceder a la temperatura normal de ebullición. Dice, tan sólo, que aquélla debe producirse a un valor de temperatura inferior al valor al que la compresibilidad sería infinita y para el que el estado líquido sería mecánicamente inestable (véase cuadro). Lo más formidable es que la ecuación de Van der Waals, a pesar de la imprecisión que pudiera esperarse de ella, previó el límite de estabilidad del agua a 277 °C, valor muy próximo a la temperatura experimental hallada para la explosión de la gota de agua del anterior experimento.

Recientemente, Skripov y sus colaboradores en Rusia, y Leblond y Hareng en París, han podido medir la velocidad del sonido en el agua sobrecalentada a 240 °C y han demostrado que el comportamiento de la compresibilidad respecto a la temperatura sigue, exactamente, la ecuación de Van der Waals. Las ecuaciones de estado más complejas obtenidas en la actualidad dan como valor máximo de sobrecalentamiento una temperatura teórica de 323 °C, es decir, ¡46 °C más que la estima de Van der Waals! De lo precedente deducimos que la capacidad calorífica del agua a temperatura habitual, única entre los líquidos moleculares por su valor elevado y casi constante (1 caloría por gramo de agua y por grado de temperatura entre 0 y 100 °C), resulta más importante en el caso de una gota sobrecalentada a más de 200 °C y alcanza valores extraordinarios en proximidad de 280 °C.

El límite de sobrecalentamiento

■ Aunque pueda parecer extraño, ya en 1876 el holandés J. Van der Waals había predicho el comportamiento de los líquidos sobrecalentados y sobreenfriados. Propuso modificar la ecuación de los gases perfectos (PV = RT) introduciendo dos parámetros *a* y *b*, para tener en cuenta dos observaciones que se refieren a las moléculas. En primer lugar, las moléculas ocupan un volumen definido, de donde, al parámetro b; en segundo lugar, las moléculas se atraen con una fuerza proporcional a *a*. (salvo en la colisión). Con estas consideraciones la ecuación se escribe $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$

y se aplica a los fluidos. Permite entonces trazar dos tipos de curvas: de variación de la presión y de la temperatura en función del volumen. Las curvas P en función de V presentan formas diferentes según que se fije la temperatura a un valor inferior o superior a la temperatura crítica del agua (T_C). Por debajo de $T_C = 374\ °C$, por ejemplo a 280 °C, la presión debería variar siguiendo la curva azul, cuando se aumenta el volumen. Pero se sabe que una sustancia no puede aumentar de volumen cuando se la comprime; por ello, la parte punteada de la curva no tiene sentido (estado inestable). Aplicado al caso del agua, significa que si se parte de vapor y se disminuye el volumen, se alcanza un punto A en el que las moléculas no pueden seguir formando una fase gaseosa comprimida, apareciendo la primera gota de líquido. Cuando todo el gas esté condensado, el sistema continuará evolucionando por la rama ascendente de la curva de trazo continuo, al otro lado de la zona prohibida. A la temperautra crítica o por encima de ella (curva negra) la parte punteada de la curva desaparece, lo que traduce el hecho de que el fluido puede ser comprimido indefinidamente. Se pasa de un fluido poco denso a un fluido de alta densidad sin que se forme vapor sobresaturado. La noción de estado metaestable no tiene sentido en este caso. Las curvas de variación de la temperatura en función del volumen, a presiones fijas, ponen de manifiesto también la existencia de agua sobrecalentada. Si se parte de agua líquida en la que las moléculas ocupan un pequeño volumen y que se calienta manteniendo la presión a 1 atm, inferior a la presión crítica (218 atm), el líquido se encuentra sobrecalentado a partir de B y se transforma completamente en vapor a partir del punto A. Se dice que se ha alcanzado el límite de sobrecalentamiento del agua. La ecuación de Van der Waals lo fija en 277 °C a una atmósfera. Este resultado merece ser destacado por el hecho de que con una ecuación simple se ha llegado a predecir un límite de sobrecalentamiento que se aparta poco del límite teórico actual, 324 °C. Si se coloca el agua a otra presión distinta, pero inferior a la presión crítica 218 atm, se alcanza otro punto límite A_1, cuya ordenada expresa otra temperatura límite de sobrecalentamiento (curvas azules). Trasladando las ordenadas de A y A_1 a un diagrama de presión en función de la temperatura, se traza la curva azul del límite de sobrecalentamiento (S) que se encuentra (en trazo continuo azul) en el diagrama de fases de la figura 6, entre los puntos T_C y B.



Muchas son las precauciones experimentales necesarias para comprender las anomalías ocultas en los distintos estados del agua.

Los investigadores tuvieron una sorpresa enorme al constatar experimentalmente este notable comportamiento de la capacidad calorífica del agua, también en estudios realizados a temperaturas ¡muy por debajo del punto normal de cristalización! Acababan de dar con un segundo estado inestable del agua: el agua sobreenfriada.

En las profundidades del agua sobreenfriada

La constatación experimental del agua sobreenfriada es muy antigua. Desde hace tiempo se sabe que incluso grandes muestras muy puras pueden enfriarse sin dificultad a más de 10 °C por debajo del punto de cristalización. La prueba es que a partir de 1778 había ya suficientes publicaciones como para permitir una síntesis del tema (Black). Sin embargo, los experimentos eran por entonces algo simples. Consistían en sumergir diversos y variados instrumentos en muestras de agua sobreenfriada y en observar la rapidez con que aparecían cristales de hielo sobre ellos.

Los experimentos no se podían reproducir, y su interpretación sistemática resultaba difícil. Hacia 1837, el francés Regnault logró unas medidas muy elaboradas relativas a las propiedades del agua sofreenfriada: midió la presión máxima de vapor de pequeñas muestras de agua líquida a —32 °C, con una notable precisión para la época. L. Dufour, igualmente francés, desarrolló en 1861 una técnica que permitía un mejor enfriamiento del agua[4]. Este método, que consiste en aislar las gotas de agua entre dos líquidos no miscibles, es la base de las técnicas actuales.

E. J. Sare y yo mismo empezamos a interesarnos por el agua sobreenfriada en 1970 al emprender el estudio de las soluciones acuosas de sales muy solubles y su propiedad de permanecer líquidas hasta temperaturas muy bajas, y eventualmente, de formar capas vítreas frágiles. El estado vítreo se alcanza a una temperatura —denominada temperatura de transición vítrea— que depende de la concentración de sal en disolución. Era natural hacer extrapolaciones para la concentración nula de sal, con miras a estimar la temperatura a la que el agua líquida se volvería vítrea. El resultado así obtenido estaba asombrosamente de acuerdo con un experimento, poco destacado pero muy interesante, realizado por Mc Millan y los del Laboratorio Nacional de Argonne, en 1964. Estos investigadores habían condensado muy lentamente moléculas de agua sobre una placa de cobre en el vacío, enfriada por nigrógeno líquido, y habían observado las características del calentamiento de los depósitos transparentes obtenidos; en su opinión, dichos depósitos se comportan como una sustancia vítrea, mostrando una transición vítrea acompañada de un aumento de la capacidad calorífica y de una pérdida de este comportamiento vítreo a —134 °C. Nuestros resultados concordaban en casi 2 °C, lo que en no era quizá muy notable, pero revelaba el completo fracaso del método de cálculo en el que se utiliza el calor latente de fusión, para estimar la temperatura por debajo de la cual el agua debe pasar al estado vítreo o violar un pilar fundamental de la termodinámica.

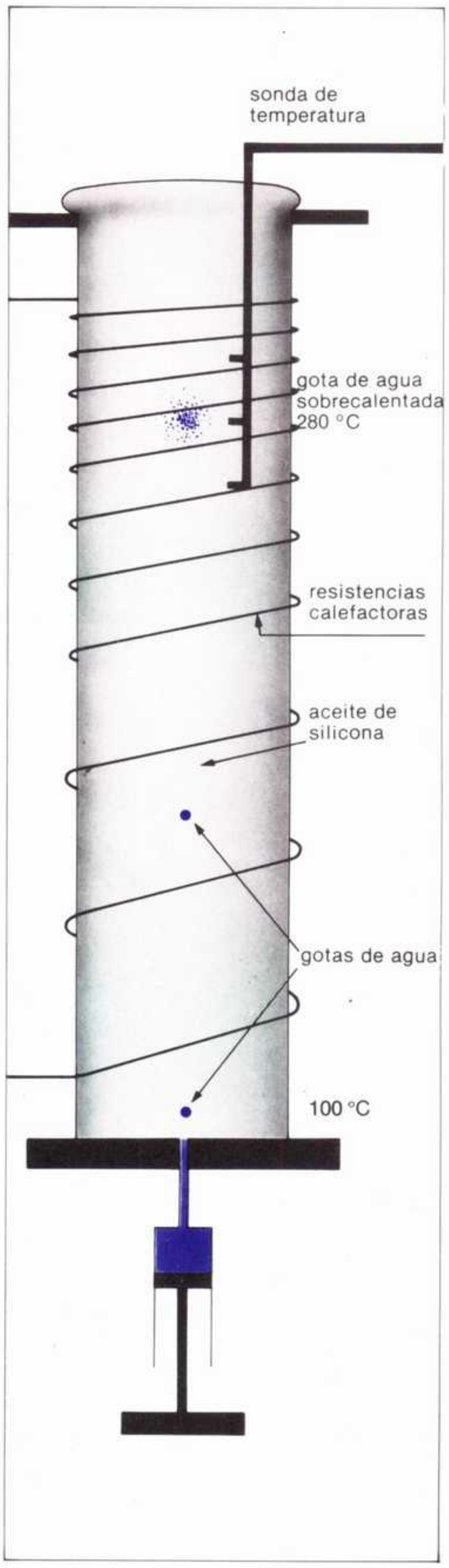


Figura 5. **¿Cómo obtener agua sobrecalentada? Se envía una pequeña gota de agua desde la parte inferior de una columna que contiene aceite de silicona, más denso, en el cual existe un gradiente de temperatura producido por un serpentín cuidadosamente concebido. Se observa que la gotita asciende por la columna, sufre el aumento de temperatura, sobrepasa su punto de ebullición a 100 °C y sólo se vaporiza y explota hacia los 250-300 °C, según la pureza de la muestra. Entre 100 °C y 300 °C, se dice que el agua está sobrecalentada.**

En efecto, los datos tradicionales preveían la obtención del estado vítreo a una temperatura muy superior a —134 °C. No nos adentraremos más en este tema, hoy conocido con el nombre de paradoja de Kauzmann. Todo esto nos hizo suponer que, oculta en lo más recóndito del estado sobreenfriado, la mayor anomalía del comportamiento de la capacidad calorífica del agua estaba aún por descubrir.

¡Cuántas argucias para revelar el extraño comportamiento del agua!

Investigando a fondo el agua sobreenfriada se encontró, en efecto, una notable peculiaridad, cuyo significado iba en sentido contrario, no obstante, a lo que esperábamos para explicar la temperatura, anormalmente baja, de la transición vítrea. La naturaleza del agua es así de sorprendente.

Durante todo este tiempo, los meteorólogos buscaban métodos que hicieran cristalizar las gotas de agua sobreenfriada en las nubes de mayor altitud, provocando así la caída de lluvia. Y al hacerlo, perfilaban algo más, una parte de la química-física del estado sobreenfriado.

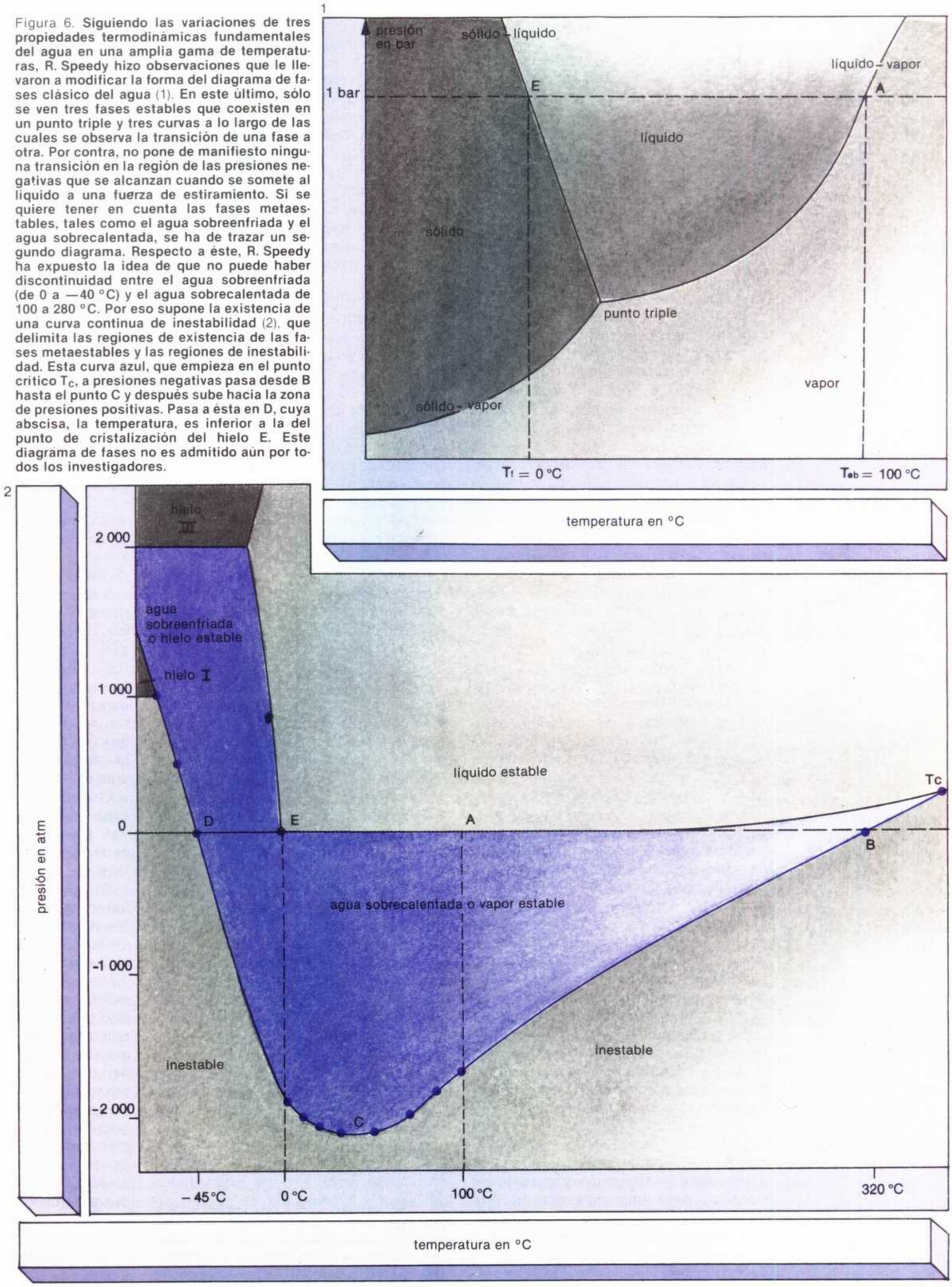
Shufle y sus colaboradores, de Colorado, consiguieron obtener delgados hilos de agua líquida a —40 °C, utilizando tubos capilares de vidrio. La longitud de estas columnas a diferentes temperaturas les informaba sobre la densidad del agua hasta —40 °C. De hecho, para disminuir tanto la temperatura, se utilizaban columnas de menos de 1 micra de diámetro, lo que con seguridad entrañaba efectos secundarios debidos al efecto pared y posiblemente también al proceso de contaminación del agua que sería luego conocido con el nombre de «agua polimerizada» de Deryagin.

En la misma época, en Rusia, precisamente en el laboratorio de Deryagin, B. V. Zhelezny[5] trabajaba con pequeñas muestras de agua cuyas propiedades eran idénticas a las del agua normal entre 0 °C y temperatura ambiente (podía esperarse un comportamiento paralelo a temperaturas inferiores). Co

(4) L. Dufour, *Arch. Sci. Phys. Nat., 10,* 364, 1861.

(5) B.V. Zhelezny, cuyo nombre está también asociado a la historia del agua polimerizada, fue uno de los primeros en poner en duda la existencia física de esta forma del agua líquida. Por ello, fue transferido a otro campo de la investigación soviética.

Figura 6. **Siguiendo las variaciones de tres propiedades termodinámicas fundamentales del agua en una amplia gama de temperaturas, R. Speedy hizo observaciones que le llevaron a modificar la forma del diagrama de fases clásico del agua** (1). **En este último, sólo se ven tres fases estables que coexisten en un punto triple y tres curvas a lo largo de las cuales se observa la transición de una fase a otra. Por contra, no pone de manifiesto ninguna transición en la región de las presiones negativas que se alcanzan cuando se somete al líquido a una fuerza de estiramiento. Si se quiere tener en cuenta las fases metaestables, tales como el agua sobreenfriada y el agua sobrecalentada, se ha de trazar un segundo diagrama. Respecto a éste, R. Speedy ha expuesto la idea de que no puede haber discontinuidad entre el agua sobreenfriada (de 0 a —40 °C) y el agua sobrecalentada de 100 a 280 °C. Por eso supone la existencia de una curva continua de inestabilidad** (2), **que delimita las regiones de existencia de las fases metaestables y las regiones de inestabilidad. Esta curva azul, que empieza en el punto crítico T_C, a presiones negativas pasa desde B hasta el punto C y después sube hacia la zona de presiones positivas. Pasa a ésta en D, cuya abscisa, la temperatura, es inferior a la del punto de cristalización del hielo E. Este diagrama de fases no es admitido aún por todos los investigadores.**



mo consecuencia de este trabajo, Zhelezny publicó resultados muy concretos acerca de la *densidad* del agua sobreenfriada a —34 °C, utilizando tubos capilares suficientemente anchos (10 micras de diámetro) para eliminar los efectos de pared. Los resultados de Zhelezny y las predicciones de modelos termodinámicos simples me llevaron a pensar que la *capacidad calorífica* del agua a presión ordinaria debería aumentar al hallarse sobreenfriada, alcanzando a —40 °C un valor más de dos veces superior al aceptado para el agua en condiciones normales. Estas reflexiones se publicaron en 1971. Poco después, recibí una llamada telefónica de Don Rasmussen, por entonces en el Instituto de Investigación Criobiológica de Madison. Don Rasmussen y su colega Alan Mackenzie habían preparado una emulsión de diminutas gotas de agua suspendidas en una matriz de pentano, que permitía que el agua permaneciera líquida hasta —38 °C. Habían efectuado ya algunas medidas de la capacidad calorífica del agua, y sus resultados demostraban un enorme aumento de los valores para temperaturas inferiores a —20 °C, lo cual confirmaba mi hipótesis.

Don Rasmussen y A. Mackenzie nos dieron generosamente los ingredientes necesarios para la preparación de la emulsión; y una semana más tarde, Joe Tucker (que hasta entonces había fracasado en la preparación de tubos capilares para las mediciones microcalorimétricas) no sólo confirmaba las observaciones de Rasmussen-Mackenzie, sino que suministraba datos obtenidos a —38 °C, utilizando un calorímetro de barrido diferencial que permitía mediciones rápidas con muestras pequeñas. La capacidad calorífica era a dicha temperatura más de un 50 % superior a la de condiciones normales y aumentaba un 10 % por cada grado de temperatura de menos.

Una memoria común de estos resultados fue rápidamente aceptada por la revista *Science,* generando las numerosas mediciones sobre agua sobreenfriada publicadas a continuación. La mayoría de estos estudios fueron realizados sobre muestras en emulsión, del tipo de la Rasmussen-Mackenzie, o con la ayuda de tubos capilares o directamente sobre gotas aisladas, muy puras, pero bastante grandes. Mientras se evite la cristalización del hielo, ya sea por la utilización de muestras emulsionadas ya por una cuidadosa purificación, se encuentran siempre los mismos resultados para una determinada propiedad. Se ha reconocido la ausencia de artefactos, puesto que algunos datos obtenidos a temperatura normal están de acuerdo con los que se conocen desde hace mucho tiempo. Parece que hemos encontrado, pues, para el agua líquida, una zona de temperatura situada bajo el punto normal de cristalización, en la que su comportamiento es verdaderamente raro y casi único entre los líquidos. Quizá sean los norteamericanos Eugene Trinh y Robert Apfel quienes han realizado los experimentos más precisos y elaborados: dichos investigadores han logrado suspender una gota de agua de 1 mm de diámetro en una columna de líquido de menor densidad y hacerla progresar mediante ultrasonidos.

Con un método de interferencia han podido medir la velocidad a la que las ondas sonoras se propagan a través de la gota, con una precisión de $\pm$ 5 ms^{-1}, es decir 0,3 %. Su mejor experimento alcanzó —34 °C (después de todo ¡a tan sólo 2 °C por debajo del límite obtenido por Regnault 150 años antes midiendo la presión máxima de vapor!). El mayor conjunto de mediciones recientes se debe sin duda a los alemanes Elmer Larng y Hans-Dieter Lüdemann, quienes han medido la velocidad a que se decantan las moléculas de agua en el líquido en que se hallan suspensas. Y ello no sólo a —36 °C y 1 atmósfera, sino también a temperaturas de —86 °C y presiones de 3000 atmósferas, utilizando en este caso tubos de vidrio reforzados. Así, han obtenido una agua tan fluida como la melaza, y nadie ha supuesto por ello que este fenómeno implicara la existencia de una nueva forma de agua. Preferimos decir que el agua se nos presenta bajo tantos aspectos distintos como parámetros físicos disponemos para su estudio.

El arsenal teórico al rescate. ¡Cuánta imaginación!

¿Cómo explicar que, entre todos los líquidos moleculares, el agua sea el único que se comporta de forma tan extraña? Las opiniones son muy diversas. En nuestro caso hemos intentando hacer una aproximación entre las variaciones de la capacidad calorífica del agua y la transición orden-desorden en los sólidos cristalinos. Esta analogía nos lleva a creer que, hacia los —40 °C, el agua sobreenfriada evoluciona hacia una transición orden-desorden con la que está asociada la aparición de una estructura de nivel superior en la red de enlaces de hidrógeno. Robin Speedy, de la universidad de Wellington en Nueva Zelanda, trabajaba en nuestro laboratorio cuando probó que las propiedades del agua sobreenfriada se podían explicar con ayuda de las ecuaciones que describen el comportamiento de un sistema próximo a un punto crítico (figura 6). Con ello demostró que la anomalía de la capacidad calorífica del agua debiera producirse a —45 °C, es decir algunos grados por debajo de la temperatura inferior a la que el agua puede sobreenfriarse. Animado por esta coincidencia, R. Speedy expuso la idea de que el agua sobreenfriada alcanza un límite de estabilidad mecánica cerca de —40 °C, de la misma forma que ocurre con el agua sobrecalentada hacia 280 °C. Para comprobar la validez de esta idea, seguimos entonces las variaciones de dos propiedades termodinámicas fundamentales, la capacidad calorífica y la compresibilidad, en un amplio margen de temperaturas centrado en la región estable y que llegaba hasta los límites de las regiones metaestables. Los diagramas obtenidos mostraban cierta simetría, en el sentido de que la capacidad calorífica presenta sensiblemente igual valor en las dos regiones metaestables, donde las gotas estallan o cristalizan. La interpretación propuesta por R. Speedy en un artículo de marzo de 1982 en el *Journal of Physical Chemistry* supone que las dos regiones deben estar relacionadas por una curva continua de inestabilidad, lo cual lleva a modificar la forma del diagrama de fases clásico del agua.(6) Este último «se arrastra» en todos los manuales de química e ignora la existencia de fases metaestables y regiones de inestabilidad. Sólo aparecen tres fases estables que coexisten en un punto llamado habitualmente punto triple, y, aparentemente, no se produce ningún tipo de transición en la región de presiones negativas. El diagrama de R. Speedy tiene la originalidad de presentar una inflexión a 35 °C y —2000 atm, cuya existencia es aún controvertida, aunque Leste Haar y su equipo del NBS también la han predicho desarrollando complejas ecuaciones de estado de carácter empírico.

Otra idea corrientemente aceptada nació del encuentro, en 1979, de Gene Stanley de la universidad de Boston y de José Teixeira de la Escuela de Física y Química de París. El primero, especialista en fenómenos críticos de los polímeros, estaba durante su año sabático en el laboratorio de P.G. de Gennes, con quien discutía vivamente acerca de las teorías sobre la gelificación. José Teixeira se esforzaba, bajo el mismo techo pero sin saberlo, en aplicar las ecuaciones de Stanley al caso del agua sobreenfriada. A veces, el azar hace bien las cosas, y ofreció a Stanley y Teixeira la posibilidad de contrastar sus ideas. Llegaron a la conclusión de que, desde el punto de vista de la cohesión de las moléculas, el agua es un hielo que puede presentar propiedades no habituales cuando, en un punto, la red de enlaces de hidrógeno se hace muy den-

(6) R.J. Speedy, *J. Phys. Chem., 86,* 1982.

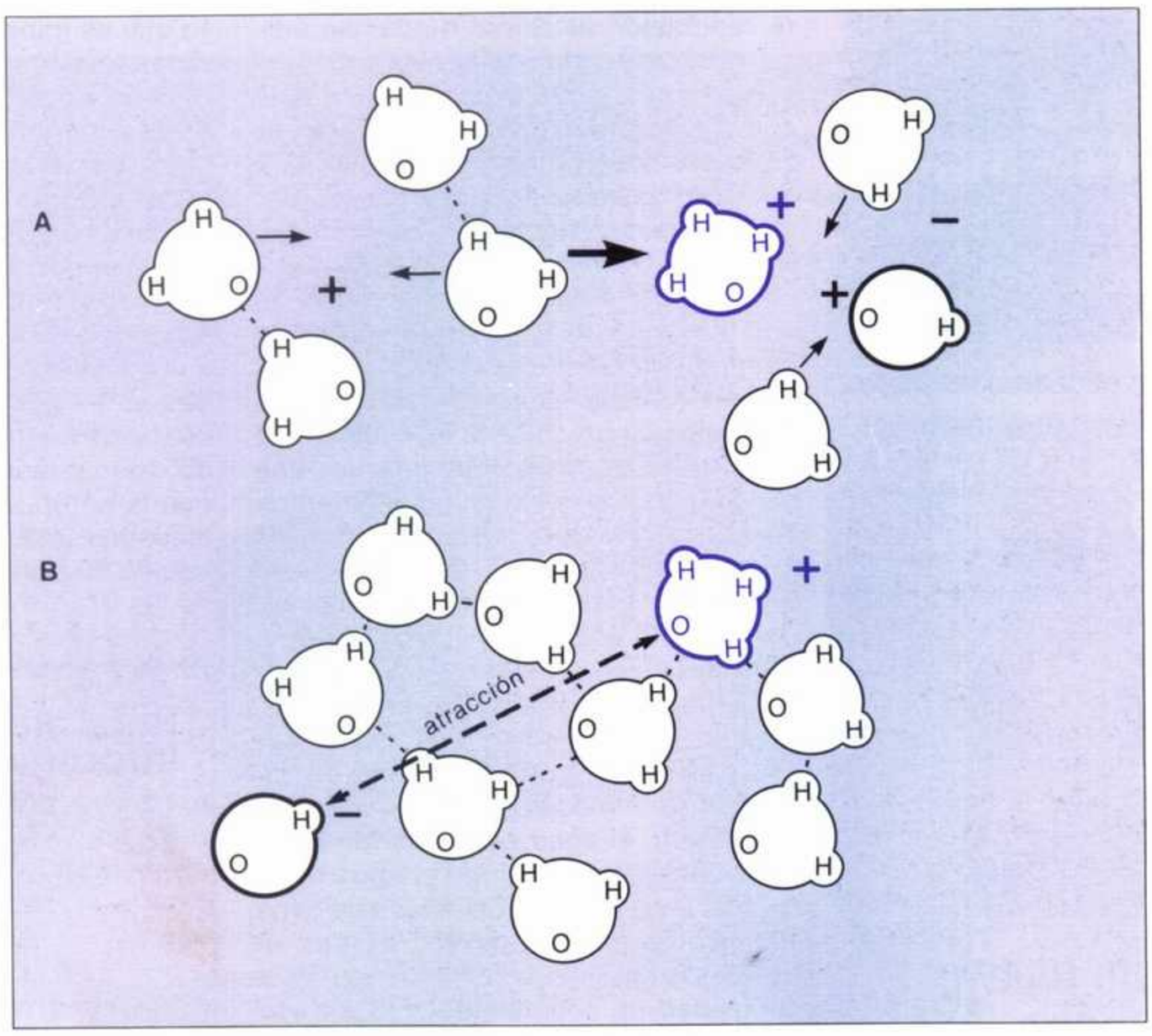


Figura 7. **En condiciones normales de presión y temperatura, las moléculas de agua interactúan entre si y están en continua agitación** (A). **Sólo muy raramente, aproximadamente una vez cada diez millones, chocan dos moléculas y una de ellas pierde un protón, ionizándose y dando el ión OH−. El protón perdido va a fijarse rápidamente sobre otra molécula de agua para formar un ión H_3O^+. Estas dos entidades de carga opuesta no permanecen libres mucho tiempo; debido al azar de la agitación de las moléculas, se aproximan y recombinan, tanto más fácilmente cuanto que existen entre ellas fuerzas de atracción eléctrica** (B). **Esta recombinación anula los efectos de la disociación anteriormente descrita.**

sa. Su modelo, publicado en 1980, prevé que estos «núcleos densos» proliferan mucho cuando la temperatura se acerca a —40 °C y parece, asimismo, que se ordenan hacia —45 °C, aunque no haya ninguna ecuación que pueda explicarlo.(7) Sea como sea, Louis Bosio y sus colaboradores de la escuela de Física y Química de París han identificado, por difracción con rayos X, pequeñas discontinuidades de densidad en el agua sobreenfriada, que tienen el tamaño previsto y cuyo número aumenta al descender la temperatura. Por su parte, F. Stillinger, de los laboratorios Bell Telephone, intenta interpretar estos resultados suponiendo que las regiones poco densas de la red están formadas por grupos de ocho moléculas, que resultan de la fusión de tres anillos de seis moléculas. Stillinger pretende que estos octómeros deben atraerse entre sí, formando núcleos densos e induciendo una estructura de orden superior en la red de enlaces de hidrógeno. El modelo de Stillinger, al igual que los otros, se basa en la existencia de dichos núcleos en la estructura del agua. Sin embargo, los modelos difieren en el modo de crecimiento del núcleo, en su interacción, en su ordenación espacial y en las consecuencias de su presencia sobre las propiedades del agua en función de la temperatura. De todas maneras, cualquier modelo incapaz de explicar las anomalías del agua sobreenfriada no tiene ninguna esperanza de sobrevivir.

¿Es el agua normal también una sustancia química curiosa?

Tras el agua sobreenfriada y el agua sobrecalentada, tenemos perfecto derecho a preguntarnos si no existirán otras formas de agua, más allá de los límites que hemos explorado. Esta hipótesis es poco probable para las temperaturas muy elevadas. Pero en la zona de temperaturas bajas, Stuart Rice y sus colaboradores de la universidad de Chicago estudiaron en 1978 una fase amorfa o «vítrea» del agua. Dicha fase, obtenida condensado vapor(8), recibe el nombre de vítrea porque su estructura se parece extrañamente a la del vidrio de sílice, es decir, que contrariamente a lo que ocurre en un cristal de hielo, las moléculas no se ordenan en una red tridimensional, sino que se hallan repartidas al azar. Con este modelo del estado vítreo se reencuentran todas las propiedades «normales» del agua: la curva de variación de la capacidad calorífica, por ejemplo, tiene una forma idéntica a la que se obtiene eliminando la anomalía a —45 °C. ¿Es la condensación de vapor el único medio para obtener agua vítrea? Hasta el momento, diversos equipos que, en todo el mundo, intentan su formación a partir del agua líquida han fracasado. La situación se hallaba en un punto muerto hasta que Giesen elaboró un método de enfriamiento ultrarrápido llamado de «hipertemplado» o hasta que mi padre, H.R. Angell, y yo mismo intentamos utilizar altas presiones para rebajar la temperatura de nucleación del agua a —90 °C, antes de sumergir las muestras en un baño de nitrógeno líquido. Más recientemente, Brugeller y Maier han publicado una memoria donde apuntan que templando una muestra de agua emulsionada obtienen una fracción vítrea. ¿Por qué razón? y ¿de qué fracción se trata? Ambas preguntas siguen sin respuesta.

Tras haber visto los estados exóticos del agua, volvamos a la que se encuentra a temperatura ambiente y presión normal. Incluso ésta, aparentemente sin importancia, nos reserva sorpresas.

En condiciones normales, el agua se halla formada esencialmente por moléculas que se deslizan unas sobre otras y están en perpetuo movimiento, tal como hemos descrito anteriormente. Es muy raro que una colisión sea lo suficientemente fuerte como para romper una molécula. Cuando esto sucede, el choque libera un protón H, que, inestable como todas las partículas independientes, se fija rápidamente sobre una molécula de agua próxima. Se forma entonces un hidrogenión H_3O^+ y un ión hidroxilo OH^-. Debido a su movimiento aleatorio, estos iones de cargas opuestas pueden reencontrarse y recombinarse para dar de nuevo dos moléculas de agua. Pero pueden ocurrir otras cosas. Cabe imaginar que el hidrogenión transfiera un protón a una molécula de agua cercana, al tiempo que una molécula de agua cede un protón a un ión hidroxilo, para asimismo permitirle volver a su estado molecular (fig. 7A). De esta forma, las especies hidrogenión e hidroxilo se propagan, dando o aceptando un protón, sin que sea necesario un movimiento de los átomos de oxígeno. El número de moléculas disociadas, y por tanto ionizadas en forma de iones H_3O^+ y OH^-, es muy pequeño en condiciones normales, del orden de 1 por cada 10^7. Así, el agua pura tiene fama de ser muy mal conductor eléctrico, ya que el número de portadores de cargas libres capaces de transportar la corriente eléctrica es muy limitado. Es-

(7) H.E. Stanley, J. Teixeira, *J. Chem. Phys., 73*, 3404, 1980.
(8) S.A. Rice, M.S. Bergren, L. Swingle, *Chem. Phys. Lett., 59*, 14, 1978.

Agua conductora que sólo precisa presiones normales y temperaturas inferiores a 100 °C.

ta reputación está mal fundamentada, puesto que se conoce la forma de conseguir que el agua sea tan conductora como el ácido de una batería, y aun de varios modos distintos. El primero, por aumento de presión, es una consecuencia directa del principio de Le Chatelier. Dado que los iones H_3O^+ y OH^- se atraen, ocupan menos volumen que las dos moléculas de agua de las que han surgido (fig. 7B). En este caso, el principio de Le Chatelier dice que un aumento de la presión favorece la disociación de las moléculas puesto que produce una disminución de volumen. Experimentos llevados a cabo a 25 °C demuestran que a una presión de 10 000 atmósferas hay diez veces más moléculas disociadas que a presión normal. A una presión mayor, el líquido cristaliza, salvo si se aumenta también la temperatura. Afortunadamente, presión y temperatura son parámetros que favorecen la disociación de moléculas; así, a 1000 °C y 10 000 atm, el agua se vuelve tan buen conductor eléctrico como el agua marina, con una molécula disociada de cada 100. A una presión de 500 000 atm el agua está totalmente ionizada y su conductividad es comparable a la de una sal fundida. Según Hamann, de Australia, el fluoruro de amonio $NH_4^+F^-$ sería la sal fundida más próxima, por su densidad y conductividad, al agua ionizada ($H_3O^+OH^-$) a alta presión. Sabiendo el terrorífico poder corrosivo que puede tener dicha sal, resulta lamentable que sea difícil concebir las aplicaciones del agua a 1000-2000 °C y 500 000 atm.

Hay, sin embargo, un tercer modo de conseguir agua conductora, que sólo precisa presiones normales y temperaturas inferiores a 100 °C. El truco consiste en situar las moléculas de agua en las proximidades de iones con una fuerte carga positiva y pequeño tamaño, como el Al^{3+}. Por ejemplo, con una mezcla 50-50 de dos sales de aluminio, el nitrato $Al(NO_3)_3.9H_2O$ y el cloruro $AlCl_3.6H_2O$, diluida de forma que se obtenga un número de moléculas de agua diez veces superior al de iones Al^{3+}, y calentada a 120 °C, se consigue que más de la mitad de las moléculas de agua estén en contacto con los iones Al^{3+}. Esta proximidad modifica extraordinariamente la estructura electrónica del agua; los dos pares de iones implicados en los enlaces hidrógeno-oxígeno son atraídos hacia los cationes Al^{3+}, a lo cual sigue una debilitación de la fuerza de los enlaces OH y que los protones se vuelven móviles, pasando sobre una molécula de agua cercana o sobre un anión presente en la solución. Es como si nuestra mezcla fuera un ácido fuerte. ¿De qué fuerza? Parece tan fuerte como el agua regia (mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico) ¡puesto que es capaz de disolver una lámin de platino!

Hemos concentrado nuestra atenció en el comportamiento poco usual de agua como líquido y hemos hablad muy poco del agua como producto químico. En la naturaleza imperan ambos aspectos, si bien el carácte químico resulta más difícil de captar, ya que a veces sólo induce modificacione sutiles en moléculas cercanas, que no obstante tienen importantes consecuencias biológicas. Por encima de todo, lo más sorprendente es reparar en que la naturaleza ha reservado las propiedades más raras a su elemento líquido más abundante. ■

Para más información:

Artículos en revistas:

■ F. Stillinger, *Science, 209,* 451, 1980.

■ A. Rahman y F. Stillinger, *J. Chem. Phys., 57,* 1281, 1972; *58,* 2532, 1973; *59,* 1545, 1974.

Sobre las extrañas propiedades del agua:

■ «Water: a comprehensive treatise», Ed. F. Franks, Plenum Press. Contribuciones de J. B. Hasted y K. Todheide en el volumen 1 y de C. A. Angell y S. A. Rice, M. J. Sceats en el volumen 7.

■ S. D. Hamann en «Modern aspects of electrochemistry», n.º 9, Ed. B. E. Conway y J. O'M. Bockus, Plenum Press, 1974.

Agua sobreenfriada y agua sobrecalentada:

■ V. P. Skripov, *Metastable liquids,* a Halsted Press Book, John Wiley and Sons 1974.

■ H. E. Stanley y J. Teixeira, *J. Chem. Phys., 73,* 3404, 1980.

■ R. J. Speedy, *J. Phys. Chem., 86,* Marzo, 1982.

■ R. J. Speedy y C. A. Angell, *J. Chem. Phys., 65,* 851, 1976.

MUNDO CIENTIFICO
LA RECHERCHE, versión en castellano

Ha publicado

CENTENARIO DARWIN 1882-1982

¿Era Darwin darwinista?
por Pierre Thuillier (n.º 12)

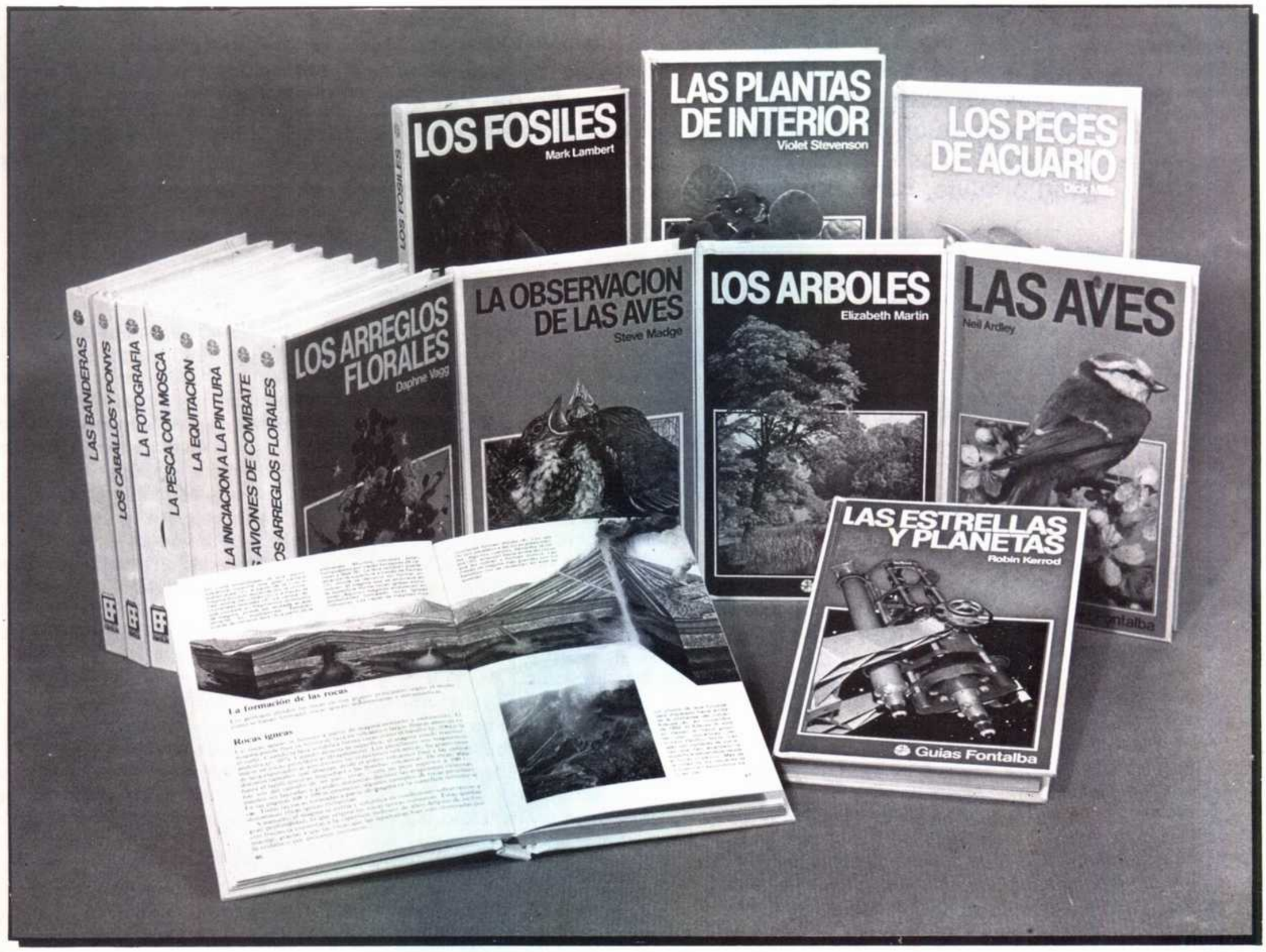
Las teorías de la evolución hoy
por Marcel Blanc (n.º 12)

Las traducciones españolas de las obras de Darwin
(n.º 12)

La muerte de Darwin en la prensa española en 1882
por Diego Núñez (n.º 13)

Para solicitar números atrasados véase página 694

GUIAS FONTALBA



Con un lenguaje sencillo y un rigor metodológico envidiables, las GUIAS FONTALBA cumplen su cometido de informar objetivamente a los lectores sobre muchos de los problemas que les preocupan.

Una selección de textos sobre temas de la actualidad científica y técnica, así como ciertas aficiones que han despertado la curiosidad y apasionado a los ciudadanos del último tercio del siglo XX.

- Fotografías e ilustraciones a todo color.
- Formato: 13,5 × 20 cm.
- Páginas: 128 en cartoné.
- **P.V.P.: 725 pts. cada volumen**

LOS FOSILES - *Mark Lambert*
LAS AVES - *Neil Ardley*
LOS AVIONES DE COMBATE - *Andrew Kershaw*
LOS ARBOLES - *Elizabeth Martin*
LAS BANDERAS - *Eric Inglefield*
LAS ESTRELLAS Y PLANETAS - *Robin Kerrod*
LOS CABALLOS Y PONYS - *Georgie Henschel*
LOS MINERALES Y ROCAS - *Heith Lye*
LOS PECES DE ACUARIO - *Dick Mills*
LAS PLANTAS DE INTERIOR - *Violet Stevenson*
LA INICIACION A LA PINTURA - *James Ogilvie-Forbes*
LA EQUITACION - *Julie Richardson*
LOS ARREGLOS FLORALES - *Daphne Vagg*
LA PESCA CON MOSCA - *Brian Furzer*
LA OBSERVACION DE LAS AVES - *Steve Madge*
LA FOTOGRAFIA - *Barry Monk*
LAS FLORES SILVESTRES - *Marilyn Jones*
LOS HONGOS Y LAS SETAS - *Derek Reid*

Pídalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.
Valencia, 359 - 6.º 1.ª
Barcelona-9 (España)

Los «SQUID»

por Brian William Petley

Los trabajos de investigación de **Brian William Petley**, del National Physical Laboratory de Teddington, se centran en las aplicaciones metrológicas de las sondas y en la determinación de las constantes fundamentales de la física.

■ Tras el descubrimiento de la superconductividad y del efecto Josephson en ciertos metales se asiste al desarrollo de un gran número de aplicaciones, que van desde la medida de campos magnéticos y de tensiones hasta los ordenadores ultrarrápidos. Entre ellas, los SQUID o sondas destinadas a la medida de campos magnéticos muy débiles han abierto nuevos horizontes en metrología y en medicina. Por ejemplo, con un SQUID se ha podido afinar la precisión de la unidad de tensión, el voltio, y se han podido medir los campos magnéticos asociados a los latidos del corazón o al cerebro. Si los SQUID han de llegar algún día al gran público, llamarán seguramente a la puerta de los laboratorios médicos.

■ Seguramente se ha dado usted cuenta, al ver la ilustración de esta página y de las siguientes, que la palabra SQUID no es aquí la traducción inglesa de «calamar»; se trata en realidad de unas siglas que designan un «interferómetro cuántico superconductor» (Superconducting Quantum Interference Device). Estas siglas nos indican que vamos a hablar de un dispositivo que funciona a bajas temperaturas, puesto que es superconductor y no se conocen superconductores por encima de 23 kelvin (es decir —250 °C). Sin embargo, este condicionamiento operativo no ha dificultado el desarrollo de los SQUID, cuyo campo de aplicación se extiende de día en día. Este éxito tiene que ver con el hecho de que los SQUID ofrecen la posibilidad de detectar campos magnéticos extraordinariamente débiles a los que no es sensible ningún otro magnetómetro. Ahora bien, los fenómenos que pueden traducirse en campos magnéticos son numerosos. Los manuales de física citan siempre el ejemplo del campo magnético asociado a la corriente eléctrica, pero hoy día interesan también los originados en el cuerpo humano. Estos últimos, tanto los engendrados por los latidos del corazón, por el cerebro o por otros órganos son más de un millón de veces más débiles que el campo magnético terrestre. Sin los SQUID hubiese sido difícil medirlos, aunque Baule y McFee hubiesen descubierto los del corazón en 1963, es decir antes de la aparición de aquéllos, cuyas aplicaciones biológicas apuntan ya los primeros resultados, aun cuando los estudios no están lo bastante avanzados en este campo para poder evaluar la importancia de los SQUID en los diagnósticos de rutina.

En cualquier caso y aparte de la medicina, los SQUID son ampliamente utilizados en múltiples laboratorios de investigación, en donde ya permiten renovar los métodos de medida de corrientes, tensiones y flujos magnéticos; para comprender su funcionamiento y dominar sus aplicaciones es necesario volver a las fuentes, es decir, a las teorías de la superconductividad.

Un ejército de electrones apareados

La observación experimental establece que la resistividad de los metales decrece generalmente con la temperatura y que, en algunos de ellos se hace nula a una temperatura de algunos kelvin: se dice entonces que los metales se han hecho superconductores. El paso al estado superconductor es brusco y reversible: si se vuelve a una temperatura superior a la de transición, el metal vuelve a ser un conductor normal y presenta cierta resistencia al paso de la corriente.

La superconductividad fue descubierta en el mercurio enfriado a 4 K por el físico holandés K. Onnes hace setenta y un años. Luego se observó en numerosos metales. Durante mucho tiempo, los superconductores más utilizados fueron el plomo y el niobio, abundantes y con puntos de transición de 7,2 y 9,5 K respectivamente.

La superconductividad fue durante largo tiempo un fenómeno bastante misterioso que los teóricos no conseguían interpretar totalmente. El misterio fue desvelado en 1957 por los físicos estadounidenses Bardeen, Cooper y Schrieffer. Su teoría (BCS) explica las propiedades de los superconductores por el comportamiento muy particular de sus electrones: en el estado superconductor, los electrones que poseen cantidades de movimiento y momentos de spin opuestos se agrupan en pares débilmente ligados. Los electrones, partículas cargadas negativamente, tienen normalmente tendencia a rechazarse mutuamente, pero en un superconductor una fuerza atractiva suplementaria debida a las vibraciones del retículo cristalino compensa la repulsión. Los electrones forman pares, se desplazan juntos, casi como soldados que marchan al paso. Imaginemos una larga fila de pares de este tipo extendiéndose a todo lo largo y ancho del superconductor. En mecánica cuántica se pueden describir estos pares con la ayuda de una función de onda única cuyo análogo en nuestro ejemplo, sería la cadencia de la marcha de los soldados. En un metal normal los electrones se comportan de forma distinta: cuando transportan una corriente conservan su independencia, incluso cuando todos se desplazan en la misma dirección, como la gente en el metro en las horas punta. Este modelo teórico hizo que la física de las bajas temperaturas adquiriese un nuevo aspecto, y permitió explicar todos los fenómenos relacionados con la superconductividad. Por ejemplo, se había observado experimentalmente que una corriente eléctrica establecida en un anillo superconductor persiste indefinidamente. Esto se explica fácilmente con la ayuda del ejemplo que hemos ideado: es tan difícil detener a los electrones apareados, que se desplazan juntos, como a un ejército en marcha. Toda colisión con el retículo precisaría por parte de este último, en efecto, una aportación de energía al menos igual a la energía cinética del conjunto de pares de electrones. El problema no es el mismo en un metal normal donde las colisiones tienen lugar independientemente entre cada uno de los electrones y la red poniendo en juego, por tanto, energías mucho más pequeñas. De ahí que una corriente eléctrica establecida en un anillo conductor normal se atenúe muy rápidamente, mientras que puede circular indefinidamente en un anillo superconductor.

¿Qué significa «indefinidamente» en la práctica? Hubo que esperar a la aparición de los SQUID para poder evaluar con precisión el tiempo de decremento de una corriente superconductora. En 1978 mi colega J. Gallop del National Physical Laboratory demostró, después de dos o tres días de trabajo con un SQUID, que serían necesarios más de 200 000 años para que la intensidad de corriente que circula por un anillo superconductor se redujera a la mitad (figura 1). La teoría BCS permite no sólo interpretar la persistencia de las corrientes superconductoras, sino también el hecho de que un superconductor se vuelva normal si se hace pasar una corriente superior a un valor «crítico» o si se le aplica un campo magnético superior a un «campo crítico» característ-

co. Estos valores particulares de la corriente y del campo corresponden a la energia necesaria para romper los pares de electrones: es una energía de origen eléctrico en el primer caso y magnético en el segundo. Los campos críticos del plomo y del niobio están próximos a los 800 y los 2 000 gauss respectivamente.

Actualmente se sabe fabricar imanes superconductores, a base de aleaciones de niobio, capaces de soportar densidades de flujo de más de 15 teslas (150 kgauss) (*Mundo Científico*, n.º 9, p. 972, diciembre 1981). Por el contrario, como veremos, los campos críticos efectivos necesarios para hacer conmutar los SQUID son muy débiles.

Los saltos elementales del flujo magnético

Hay todavía otros fenómenos relacionados con la superconductividad, como la cuantificación del flujo magnético y los efectos Josephson, en los que también se basa el funcionamiento de los SQUID. Si se enfría un anillo super-

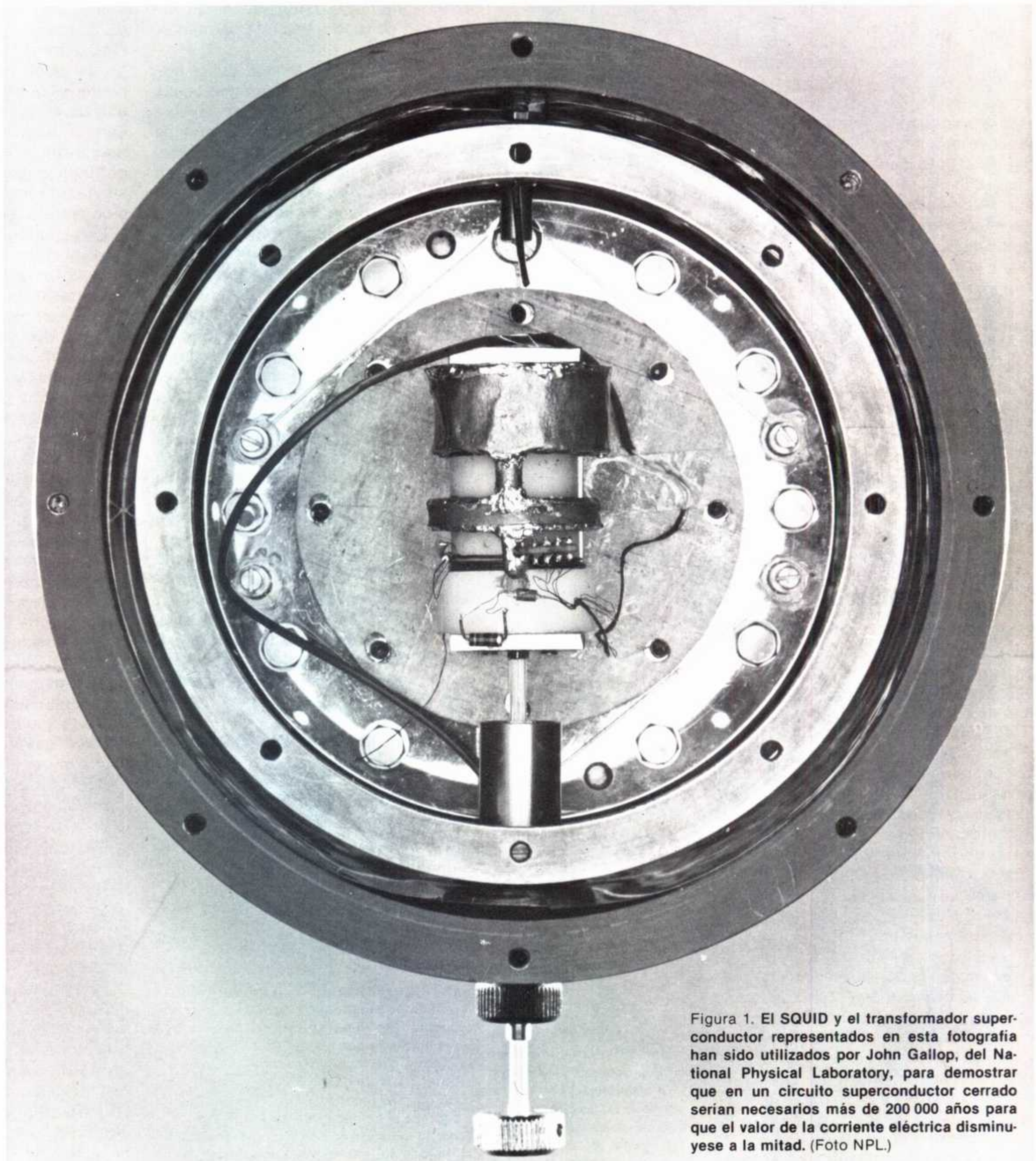
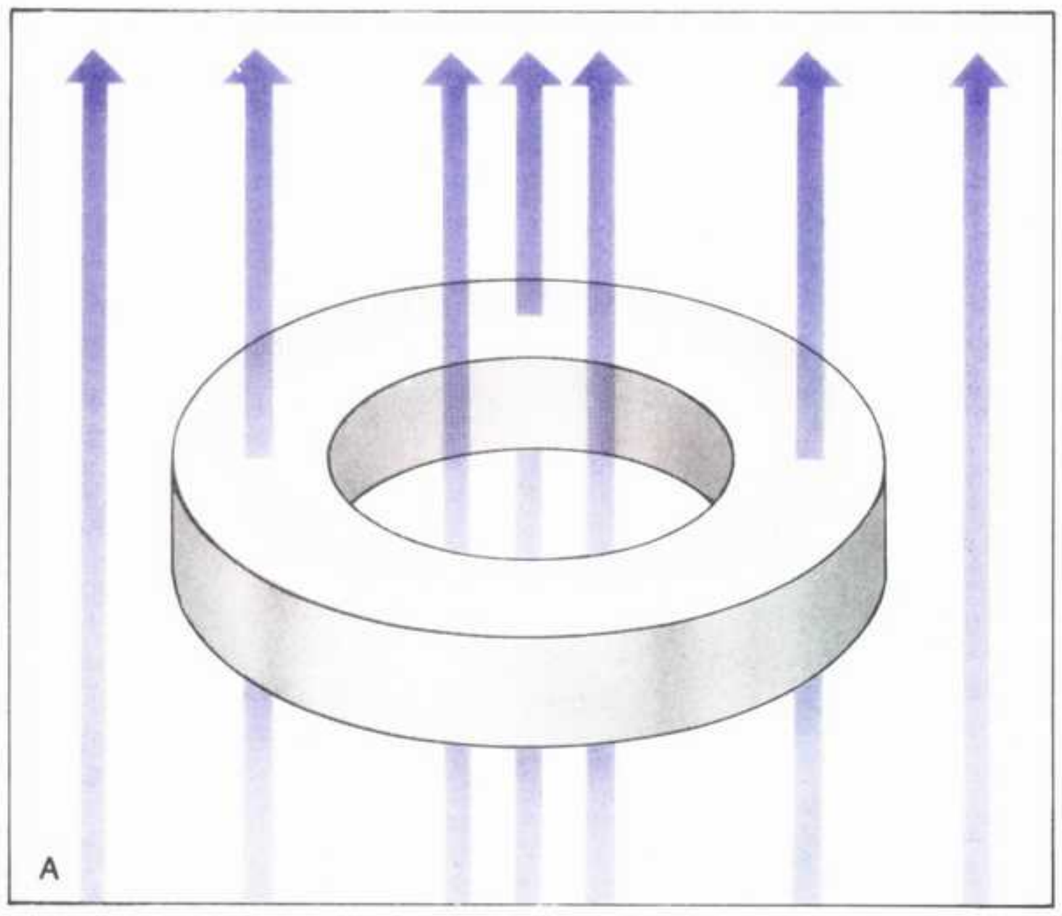
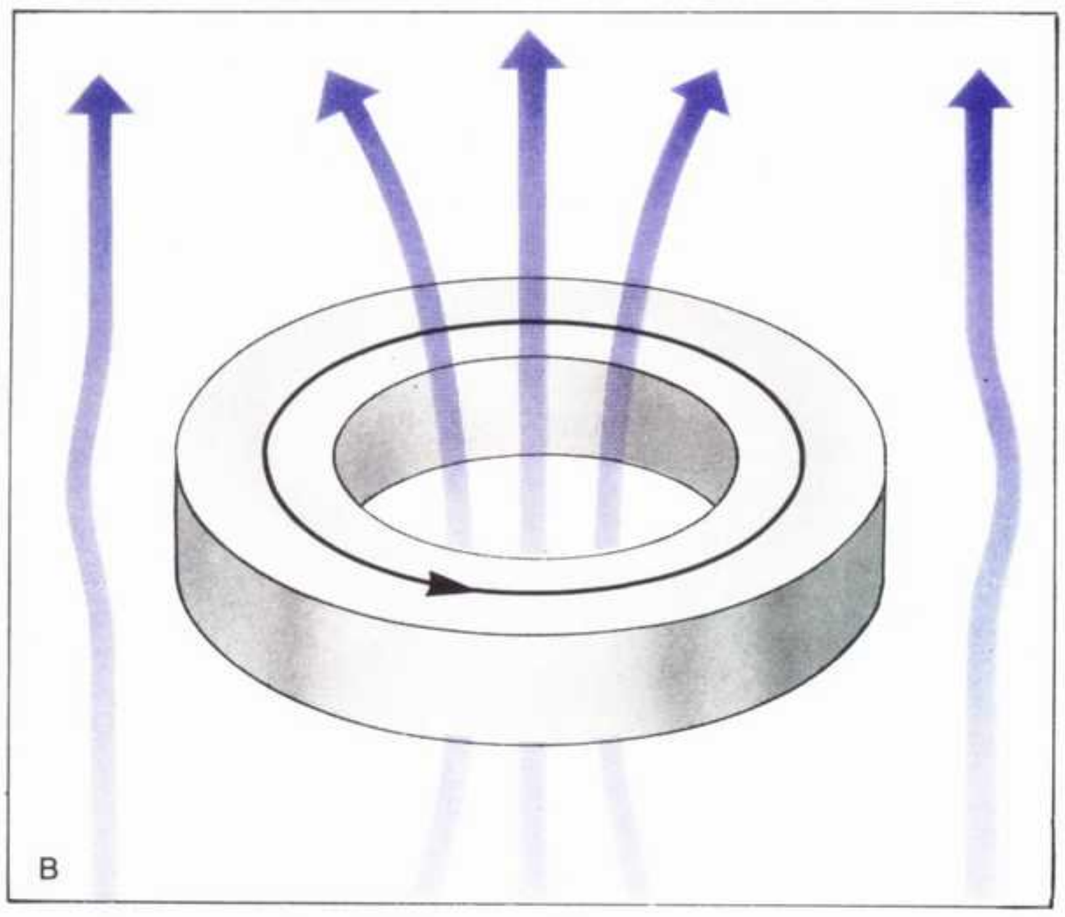
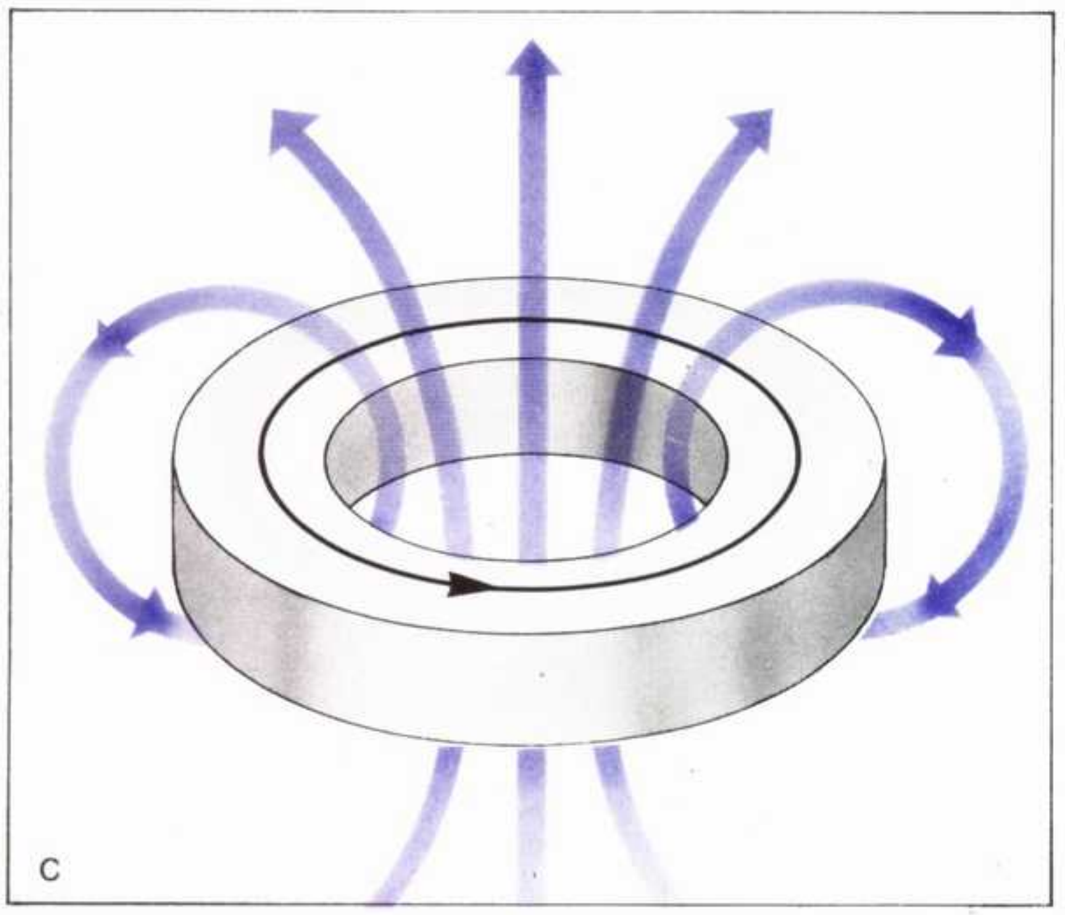


Figura 1. **El SQUID y el transformador superconductor representados en esta fotografia han sido utilizados por John Gallop, del National Physical Laboratory, para demostrar que en un circuito superconductor cerrado serian necesarios más de 200 000 años para que el valor de la corriente eléctrica disminuyese a la mitad.** (Foto NPL.)

Dispositivos particularmente sensibles a los campos magnéticos muy débiles.







conductor metálico hasta el paso al estado superconductor en presencia de un campo magnético y luego se corta el campo se observa que el flujo magnético —cantidad que representa el producto del campo en el anillo por la superficie de éste— queda atrapado en este último (fig. 2). En efecto, el flujo es mantenido por una corriente superconductora que, según la ley de Lenz que aprendimos en la escuela, ha aparecido en el anillo para oponerse a las variaciones de flujo y persiste permanentemente.

La experiencia de la vida diaria nos ha enseñado muchas veces que cosas aparentemente continuas se revelan discontinuas cuando se las observa de cerca; una fotografía de un periódico, por ejemplo, está formada por un gran número de puntos, la materia está compuesta por átomos, la energía aumenta a saltos, etc. De igual forma, el flujo magnético no varía continuamente sino mediante saltos muy pequeños, tantos que generalmente pasan desapercibidos. Más exactamente, el flujo total a través de un anillo superconductor es un múltiplo entero de una cantidad elemental denominada «cuanto de flujo magnético». Esta magnitud es igual al cociente de la constante de Planck por el doble (debido a los pares) de la carga del electrón, es decir $h/2e = 2{,}05 \times 10^{-15}$ Weber. Para hacernos una idea de lo que representa este valor imaginemos un anillo que tuviese el diámetro de un cabello. Colocado en el campo magnético terrestre, este anillo sería atravesado por un flujo de varios cuantos. Afortunadamente no es necesario utilizar anillos tan pequeños para realizar los SQUID. La experiencia ha probado que una superficie mayor permite detectar campos mucho más débiles que el campo terrestre.

Origen de los SQUID: los efectos Josephson

En 1972 Brian Josephson obtuvo el premio Nobel de física por haber predicho, diez años antes, cuando seguía sus estudios superiores en Cambridge, los nuevos efectos que se producen cuando se acercan suficientemente dos superconductores. Esto puede conseguirse, por ejemplo, separando los superconductores por una delgada barrera aislante, generalmente de óxido, de algunos nanómetros de grueso. Con semejante dispositivo, los pares de electrones que, según la física clásica, deberían ser detenidos por la barrera pueden atravesarla por efecto túnel. Para valores suficientemente débiles de la corriente, la barrera —o unión— no se comporta como un aislante, ni siquiera como un metal normal, sino ¡como un superconductor! No hay entonces ninguna tensión entre sus bornes. Es el efecto Josephson continuo. Sin embargo, la unión no tiene las mismas propiedades que los superconductores que enlaza; en particular, su corriente y su campo magnético críticos son mucho más débiles. Si se aplica a la unión una corriente superior a su corriente crítica se vuelve resistente y aparece una tensión entre sus bornes.

Estos fenómenos pueden interpretarse en el marco de la descripción ondulatoria, introducida precedentemente, de los pares de electrones que poseen una función de onda única: si la barrera aislante que separa los superconductores es suficientemente delgada, las ondas asociadas a los electrones emparejados de una parte y de la otra pueden interferirse y su interferencia afecta al caudal de electrones entre los dos superconductores. El efecto Josephson continuo (fig. 3A) tiene lugar cuando las dos ondas, en ambos superconductores, tienen la misma frecuencia y existe una diferencia de fase entre ellas. Una débil corriente de superconducción atraviesa entonces la barrera, y su intensidad depende de la diferencia de fase y presenta un valor máximo por encima del cual la barrera vuelve a tener resistencia. Así ocurre cuando la diferencia de fase alcanza 90° y las ondas ya no pueden seguir asociadas. La velocidad a la que se produce el paso al estado de resistencia es actualmente aprovechada por los constructores de ordenadores ultrarrápidos, como veremos más adelante.

Cuando se sigue la variación de la corriente superconductora, a través de una unión Josephson en función del flujo magnético aplicado, se observa que la corriente se anula periódicamente. El fenómeno recuerda el de la difracción de la luz por una rendija (*La Recherche* n.º 38, p. 845, oct. 1973). Los valores del flujo que anulan la corriente son precisamente múltiplos enteros del cuanto de flujo. Figuradamente se puede decir que una unión Josephson colocada en un anillo superconductor actúa como un pastor que abre y cierra una barrera para hacer entrar en su campo un único carnero cada vez: éste es el cuanto de flujo magnético.

El anillo que acabamos de describir

Figura 2. **Cuando se coloca un anillo metálico en un campo magnético y se enfría** (A) **puede convertirse en superconductor** (B), **mientras que la corriente que se origina crea un campo magnético que se opone al flujo a través del material. Se trata del efecto Meissner, descubierto por Meissner y Oschenfeld en 1933. Si se suprime el campo magnético externo** (C), **la corriente inducida que se opone a la variación del flujo mantiene el flujo magnético en el anillo.**

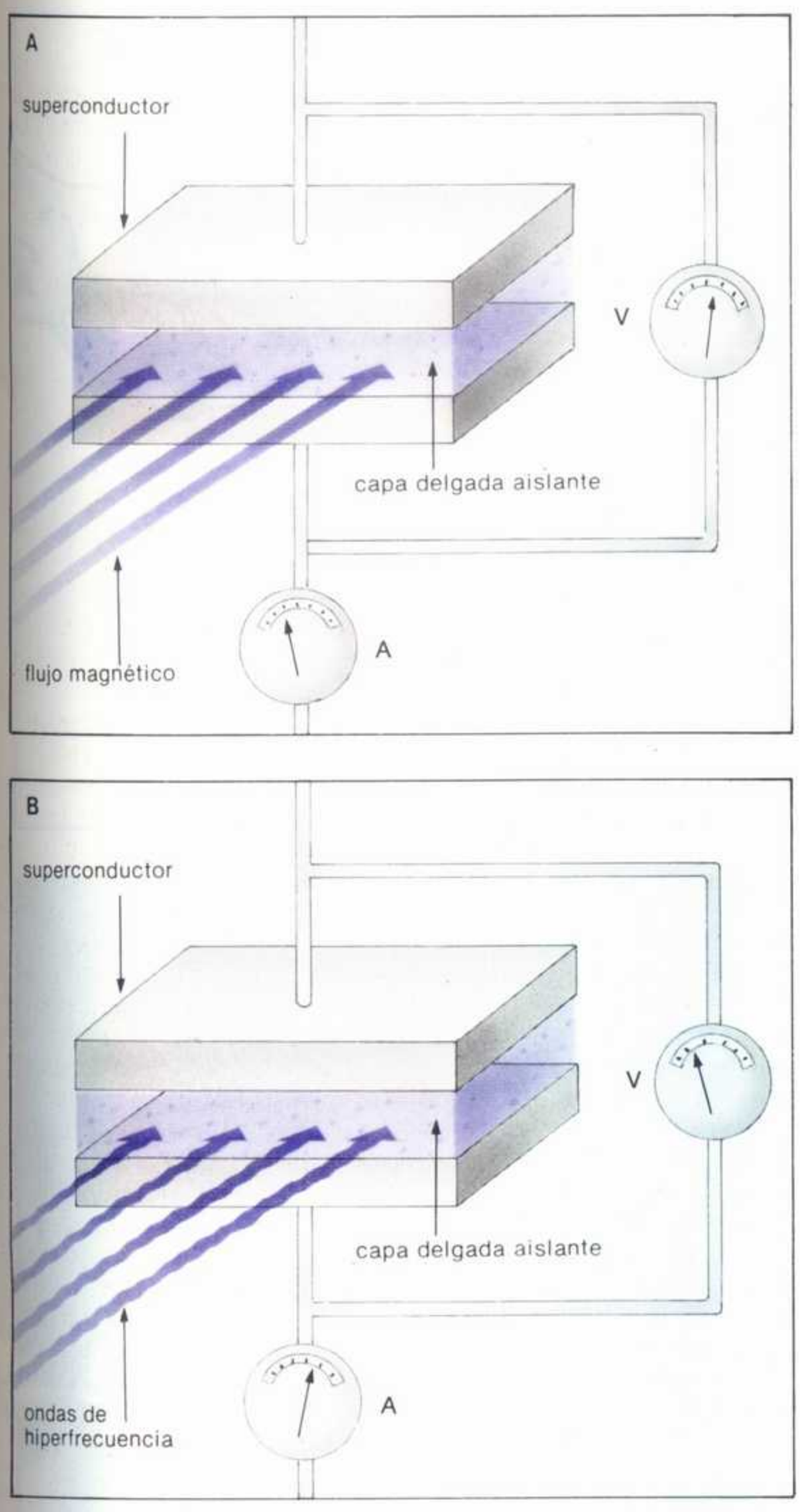


Figura 3. **Los efectos Josephson pueden observarse cuando dos superconductores se encuentran muy próximos entre si, por ejemplo cuando están separados por una película de óxido de algunos nanómetros de espesor. La corriente máxima de superconducción en una barrera de este tipo depende del flujo magnético externo, que por encima de cierto valor la hace pasar a estado resistivo. Entonces aparece una tensión entre sus bornes** (A). **El tiempo de conmutación es del orden del picosegundo. Este efecto se llama Josephson continuo.**
El efecto Josephson alterno se produce cuando se envian a la barrera ondas de hiperfrecuencia (B). **Se observa que se establece una corriente superconductora cuando la diferencia de potencial entre los dos superconductores es igual al producto de la constante h/2e por la frecuencia de las ondas de hiperfrecuencia. La caracteristica corriente-tensión del dispositivo presenta entonces escalones de tensión regularmente espaciados** (C).

es precisamente un SQUID. Para ayudar a entender su funcionamiento, los especialistas prefieren, en lugar de corderos, una analogía mecánica a base de péndulos (fig. 4) o electrónica más complicada. Ambas permiten ilustrar todas las características del efecto Josephson continuo.

Hay un segundo efecto Josephson, llamado «alterno», que tiene lugar cuando la unión es atravesada por una corriente superior a la suya crítica. En este caso, también hay una supercorriente a través de la unión, pero no continua sino oscilante, y de frecuencia proporcional a la tensión entre los bornes de la unión, siendo el factor de proporcionalidad igual a 484 MHz/μV. Así, para tensiones de algunos milivoltios, la frecuencia de la corriente es de varios gigahercios y se sitúa, por tanto, en la zona de las hiperfrecuencias. Inversamente, las uniones Josephson pueden utilizarse como detectoras de ondas electromagnéticas, lo cual se explica fundamentalmente por el hecho de que los pares de electrones pueden tomar del campo magnético la cantidad de energía que necesitan para atravesar la unión sin escindirse. Entonces atraviesa la barrera una corriente superconductora, para valores de la tensión entre sus bornes proporcionales a un múltiplo de la frecuencia del campo aplicado y al cuanto de flujo (figs. 3B y C). Además de la medida del campo magnético, el efecto Josephson alterno se aplica a la medida del cuanto de flujo (actualmente utilizado en la calibración de la unidad de voltaje), a la generación de armónicos y a la multiplicación de frecuencias.

Dos tipos de SQUID diferentes

Acabamos de describir dos tipos diferentes de efectos Josephson: continuo y alterno. En la práctica han dado lugar a dos tipos de SQUID, calificados igualmente de «alternos» y de «continuos». Esquemáticamente, los SQUID están formados por un anillo superconductor que contiene una o dos uniones Josephson (también llamadas «barreras», «puntos débiles» o «micropuentes»). Hay múltiples maneras de realizarlos (véase cuadro). En todos los casos, la corriente inducida en el anillo proporciona una medida de flujo y, por tanto, del campo magnético, que se quiere determinar. El problema reside, pues, en medir la corriente, lo que puede hacerse de manera directa. En un SQUID, el anillo superconductor comporta dos barreras; al aplicar un campo magnético adquieren resistencia y aparece una diferencia de potencial entre las dos partes del anillo. Esta tensión, fácilmente medible, permite determinar el flujo magnético. Los SQUID alternos sólo presentan una barrera y, por ello, son más fáciles de construir. Sin embargo, es más difícil detectar el paso al estado de resistencia en una sola unión, dificultad que se supera aprovechando la débil inductancia del anillo; éste está acoplado por inducción mutua a un circuito oscilante externo que induce una corriente alterna cuyas frecuencias van de una decena de megahercios (ondas cortas de radio) hasta las hiperfrecuencias. Las variaciones de la corriente en el anillo, inducidas por el campo magnético que hay que medir, se traducen de esta forma en variaciones del nivel de oscilación del circuito externo, que se pueden medir. Con los SQUID alternos es actualmente posible detectar variaciones de flujo muy inferiores al cuanto de flujo magnético. Así lo ha puesto de manifiesto Terry Clark, de Sussex, quien controlando lo mejor posible todos los parámetros que limitan los rendimientos del dispositivo (ruido de los amplificadores, sensibilidad, banda pasante...) ha conseguido registrar una variación de flujo de $2{,}10^{-21}$ Wb por segundo en 1981. T. Clark ostenta hoy todavía el mejor logro de sensibilidad, y sigue mejorándolo utilizando amplificadores de baja temperatura y aumentando la frecuencia: su SQUID funciona a 430 MHz. Con todo, como mejor se evalúa la sensibilidad óptima de un SQUID es en términos de detección de energía. El límite teórico de detección de energía es del orden de 10^{-34} julios por hercio (es decir del orden de la constante de Planck a 1 Hz). En el curso del último año han sido construidos un SQUID continuo y un SQUID alterno que se aproximan a este límite, aproximadamente en factor es de dos y diez, respectivamente. Por un curioso azar, los dos especialistas en liza llevan casi igual nombre, ya que se trata de John Clarke de la Universi-

Los SQUID a bordo de la lanzadera espacial, ¿para qué?

fig. 4

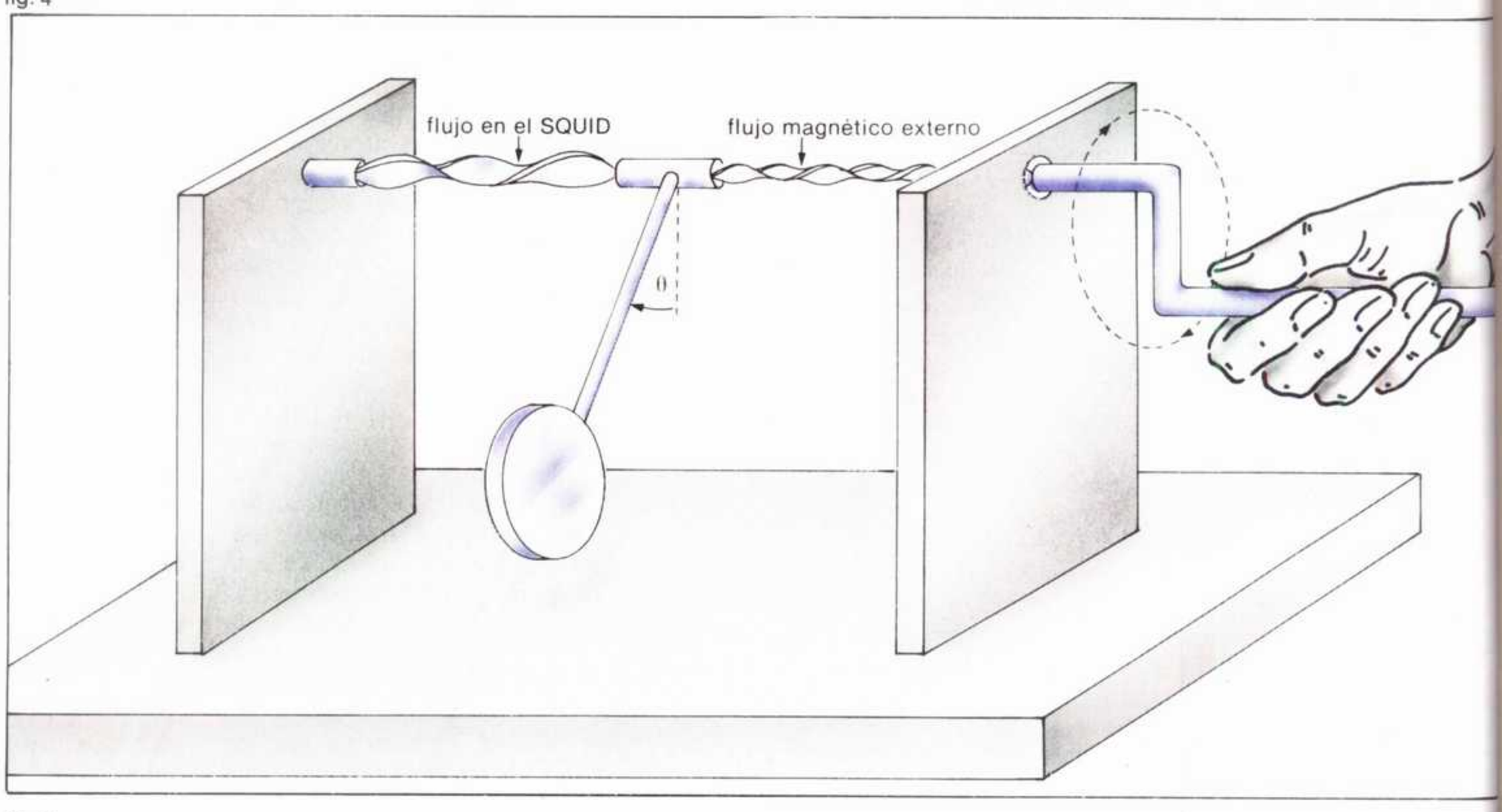


fig. 5

Figura 4. **Este sencillo dispositivo es el análogo mecánico de un SQUID, constituido por un anillo superconductor que contiene una barrera Josephson. El número de vueltas de la banda elástica de la izquierda representa el valor del flujo magnético capturado en el anillo. El péndulo representa el punto débil del anillo. Su masa equivale a la corriente crítica de este punto débil. El ángulo θ del péndulo con la vertical corresponde a la diferencia de fase entre las ondas asociadas a los electrones superconductores a uno y otro lado de la barrera. Cuando se gira la manivela, θ aumenta hasta alcanzar 90°, ángulo para el cual el péndulo bascula. Este basculamiento corresponde a la entrada de un cuanto de flujo en el anillo. Por tanto, el flujo magnético externo puede aumentar continuamente haciendo girar la manivela, mientras que el flujo en el anillo aumenta a saltos y presenta una histéresis cuando disminuye el flujo externo.**

Figura 5. **El autor y su colaborador K. Morris muestran un SQUID de hiperfrecuencia que puede introducirse en el criostato que se encuentra en el centro de la fotografía. Este SQUID fue utilizado para calibrar un atenuador de radiofrecuencia con una precisión de 0,002 dB.** (Foto NPL.)

dad de California, en el caso del SQUID continuo, y de Terry Clark en el del SQUID de alta frecuencia.

Mientras estos especialistas se esfuerzan en alcanzar la sensibilidad definitiva de estos dispositivos, otros intentan resolver los problemas que plantea la utilización práctica de los SQUID disponibles en el mercado, cuyas características son satisfactorias para la mayor parte de las aplicaciones, incluso en laboratorios de investigación. Tan sólo falta acoplar convenientemente el sistema al campo que se desea medir y evitar los ruidos magnéticos externos, naturales y artificiales. La solución reside en una concepción cuidadosa de las bobinas de acoplamiento y en la utilización de una jaula de Faraday. La eliminación de las descargas electrostáticas que hacen perder al SQUID la memoria de las condiciones iniciales de funcionamiento y la fiabilidad de los micropuentes después de varios ciclos térmicos entre la temperatura ambiente y la del helio líquido también plantean problemas. Los progresos en la tecnología de las uniones aportarán sin duda una solución a nivel de fiabilidad.

Apenas hace diez años, el hecho de que los SQUID sólo funcionasen a baja temperatura se consideraba como un obstáculo para su difusión. Afortunadamente, el aislamiento de los criostatos ha progresado: hoy los hay portátiles que tienen una autonomía de funcionamiento de dos semanas entre dos remplazamientos sucesivos del helio. Además, como los SQUID son aparatos de pequeño volumen, se pueden utilizar dispositivos de refrigeración de reducidas dimensiones. Con este objeto, J. Zimmerman, del National Bureau of Standards, construyó en 1972 un pequeño refrigerador electromecánico, con ciclo de Stirling, que permite mantener un SQUID a menos de 10 K durante varias semanas, con un consumo de energía inferior a 60 W.

Útil esencial en metrología

Las aplicaciones de los SQUID son múltiples y variadas por lo que sólo podemos dar algunos ejemplos en el marco de este artículo. Muchas de ellas se sitúan en el campo de la metrología, en los laboratorios de física. Entre las más espectaculares se puede citar la realización de un patrón de tensión absoluto gracias a un SQUID preparado en 1971 por los equipos del PNL de Teddington y por otros. En 1972 y en el curso de una

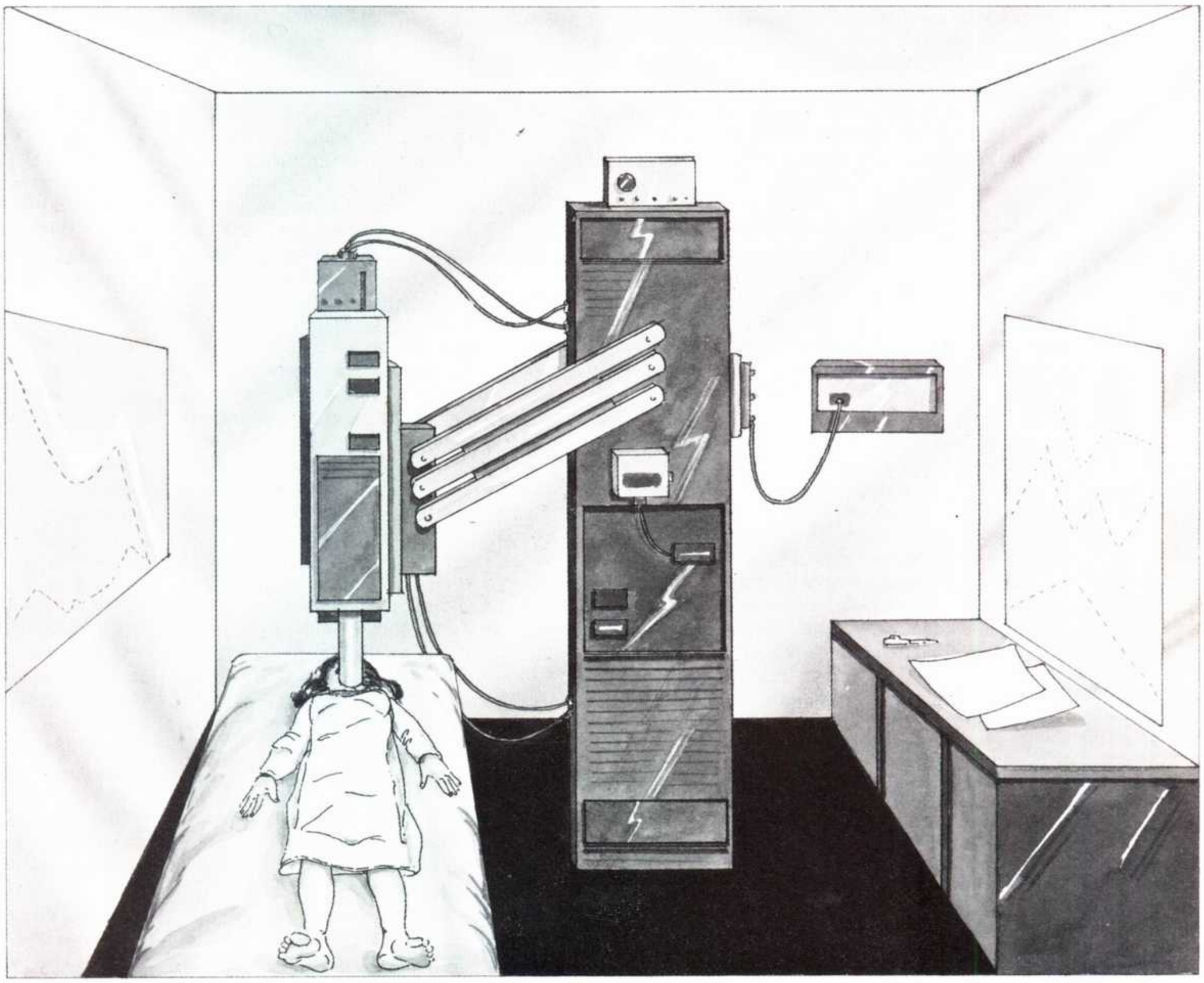


Figura 6. **Un SQUID permite estudiar los latidos del corazón de una persona tendida en una pequeña habitación equipada con un blindaje electromagnético. Las habitaciones de este tipo miden típicamente 2 m × 2 m × 2 m. Sus paredes están tapizadas con una hoja de aluminio de algunos centímetros de espesor y su puerta también está blindada. Estos dispositivos permiten reducir en un factor 100 el efecto de los ruidos electromagnéticos externos. También hay que eliminar cuidadosamente las vibraciones, ya que los campos magnéticos estáticos no quedan apantallados.**

reunión internacional, fue atribuida la frecuencia Josephson de 483594,0 GHz al valor del voltio la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (OIPM) de Sèvres, medido en enero de 1969. Esto definía con precisión el valor de 2e/h. Luego se ha explotado este método para estabilizar en algunas centésimas de microvoltio la aproximación al voltio SI, en el NPL, BIPM, Laboratoire Central d'Électricité de France, en el equipo del profesor Largerberg de la universidad de Pennsylvania, y en todos los laboratorios metrológicos nacionales del mundo, donde los patrones de tensión se desviaban antes unos 0,3 μV al año.

Hacia 1975, el National Bureau of Standards, el autor y sus colegas del National Physical Laboratory desarrollaron otra aplicación metrológica de los SQUID de hiperfrecuencia (véase cuadro, fig. C), que consiste en calibrar un atenuador de corriente de radiofrecuencia con una gran precisión (fig. 5). El atenuador está colocado en serie con el cable de radiofrecuencia del SQUID y éste refleja en la guía una potencia media cuya expresión matemática es una función de Bessel. Como los «ceros» de las funciones de Bessel son perfectamente conocidos y están tabulados, el calibrado del atenuador sólo es un problema de cálculo.

Los SQUID también se han utilizado como detectores de corriente y de tensión: en efecto, es fácil hacer pasar la corriente que se quiere medir por una bobina acoplada a un SQUID que detectará un flujo magnético proporcional a esta corriente (o a la tensión que la ha originado). La elevada sensibilidad de los SQUID los hace, así, excelentes aparatos para la medida de tensiones en los bornes de pequeñas resistencias (un microohmio) por las que circulan corrientes del orden del microamperio. Hay montajes de este tipo en los termómetros de ruido Johnson, en los que la ganancia de sensibilidad se traduce en una ganancia de precisión tal, que se miden variaciones de temperatura del orden de algunos milikelvin con una precisión del orden del microkelvin. Por otra parte, en los laboratorios de investigación fundamental de física del estado sólido, los SQUID son hoy ampliamente utilizados para estudiar el comportamiento de los materiales a baja temperatura y, muy particularmente, sus propiedades magnéticas. Actualmente se intentan descubrir, con la ayuda de los SQUID más sensibles, nuevos efectos debidos a fluctuaciones cuánticas.

Del espacio al medio ambiente terrestre

Es enorme el interés actual en la posibilidad de detectar ondas gravitacionales originales en el espacio. Según parece, los primeros anuncios de su descubrimiento en 1972 fueron prematuros, y desde entonces se han construido diversos instrumentos de mayor sensibilidad, algunos con el concurso de SQUID. A título de ejemplo se puede citar el equipo experimental de relatividad que piensan poner en órbita los equipos de la universidad de Stanford en una de las próximas misiones de la lanzadera espacial. En este proyecto se pretende determinar la precesión de una esfera de silicio en rotación, recubierta con un filme superconductor y mantenida en el aire por levitación. El SQUID permitirá una medida de la misma con una precisión de una centésima de segundo de arco al año aproximadamente. El criostato contendrá unos 800 litros de helio líquido y permitirá mantener el dispositivo en el estado superconductor durante más de un año. J. Gallop, del NPL, piensa trasladar esta experiencia a los giroscopios, utilizando núcleos de helio 3 líquido como elementos del giroscopio, para detectar su precesión en un campo magnético uniforme con la ayuda de un SQUID; Radcliffe y él mismo ya habían medido en 1978, con un aparato comercial, este grado de precesión en un campo uniforme de amplitud comparable a la del campo magnético terrestre. Este resultado sólo era un subproducto de una experiencia destinada a medir una constante atómica fundamental: h/m_e (h constante de Planck, m_e: masa del electrón).

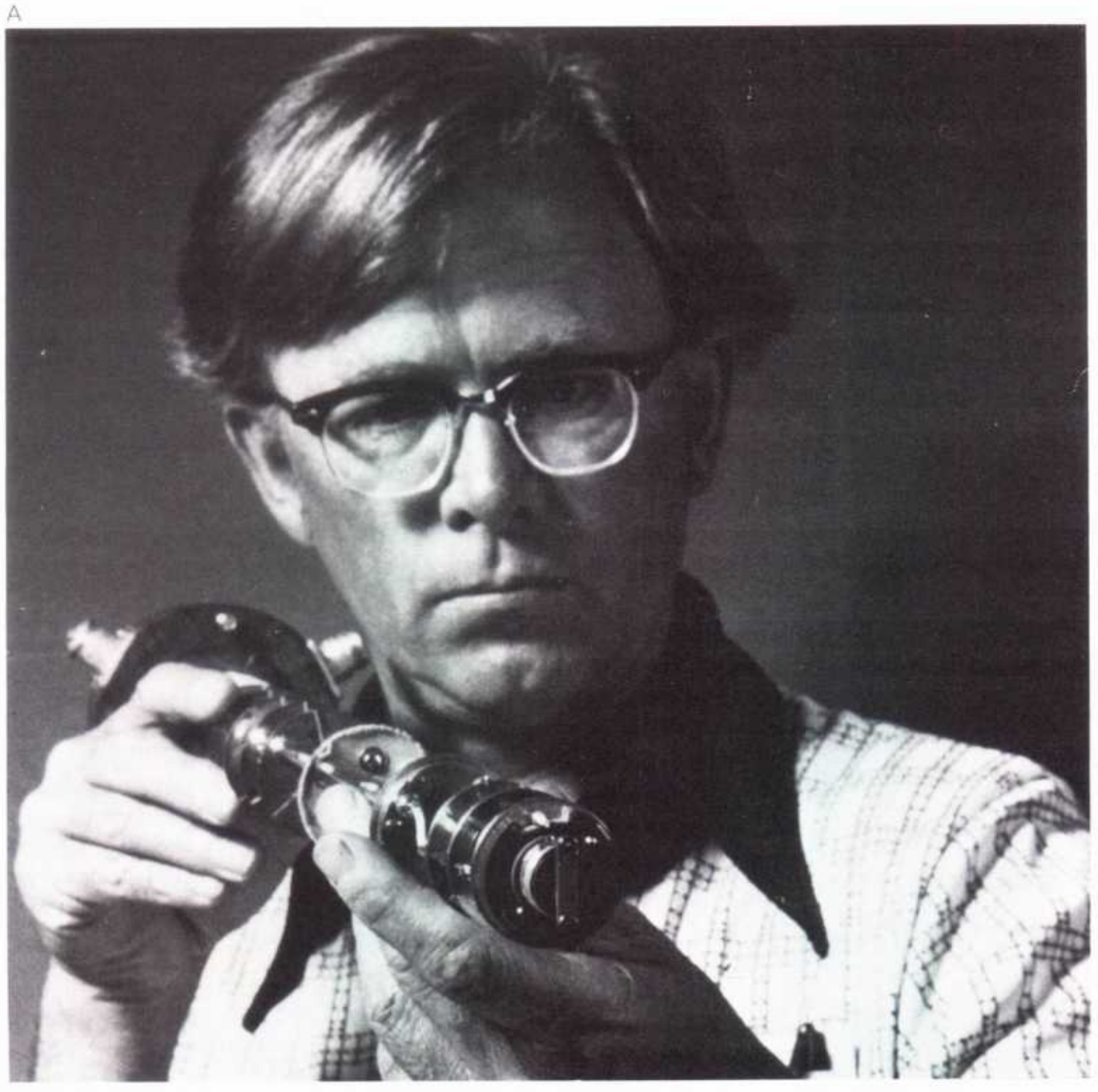
Los magnetómetros de SQUID también sirven actualmente a los geofísicos para estudiar los efectos de la propagación de los campos magnéticos desde la estratosfera y la ionosfera hasta el suelo. Una prolongación de este tipo de experimento es la medida de la impedancia de la corteza terrestre para frecuencias comprendidas entre 10^{-3} Hz y 1 Hz. También podría pensarse en recurrir a SQUID para corregir las anomalías magnéticas del planeta y obtener de esta forma nuevas informaciones sobre los recursos del globo.

Los efectos piezomagnéticos de las sacudidas sísmicas (del orden de 1 $pT.m^{-1}$) también podrían ser detectadas con un gradiómetro de SQUID, al igual que las oscilaciones del mar en el campo magnético terrestre, ya que para una velocidad de desplazamiento de tan sólo un centímetro por segundo, provocan gradientes de densidad de flujo del mismo orden de magnitud. La sensibilidad de los SQUID es tal, que se llega a registrar el movimiento de camiones situados a varios centenares de metros del punto de observación; he aquí todo un campo potencial de aplicaciones militares. Como el agua del mar tiene la desagradable propiedad de absorber la mayor parte de las frecuencias utilizadas para transmitir mensajes, y mu particularmente las bajas frecuencias se piensa cada vez más en detectar la señales con la ayuda de un SQUID, es pecialmente en el campo de las comun caciones con submarinos que se halla lejos de la superficie del agua.

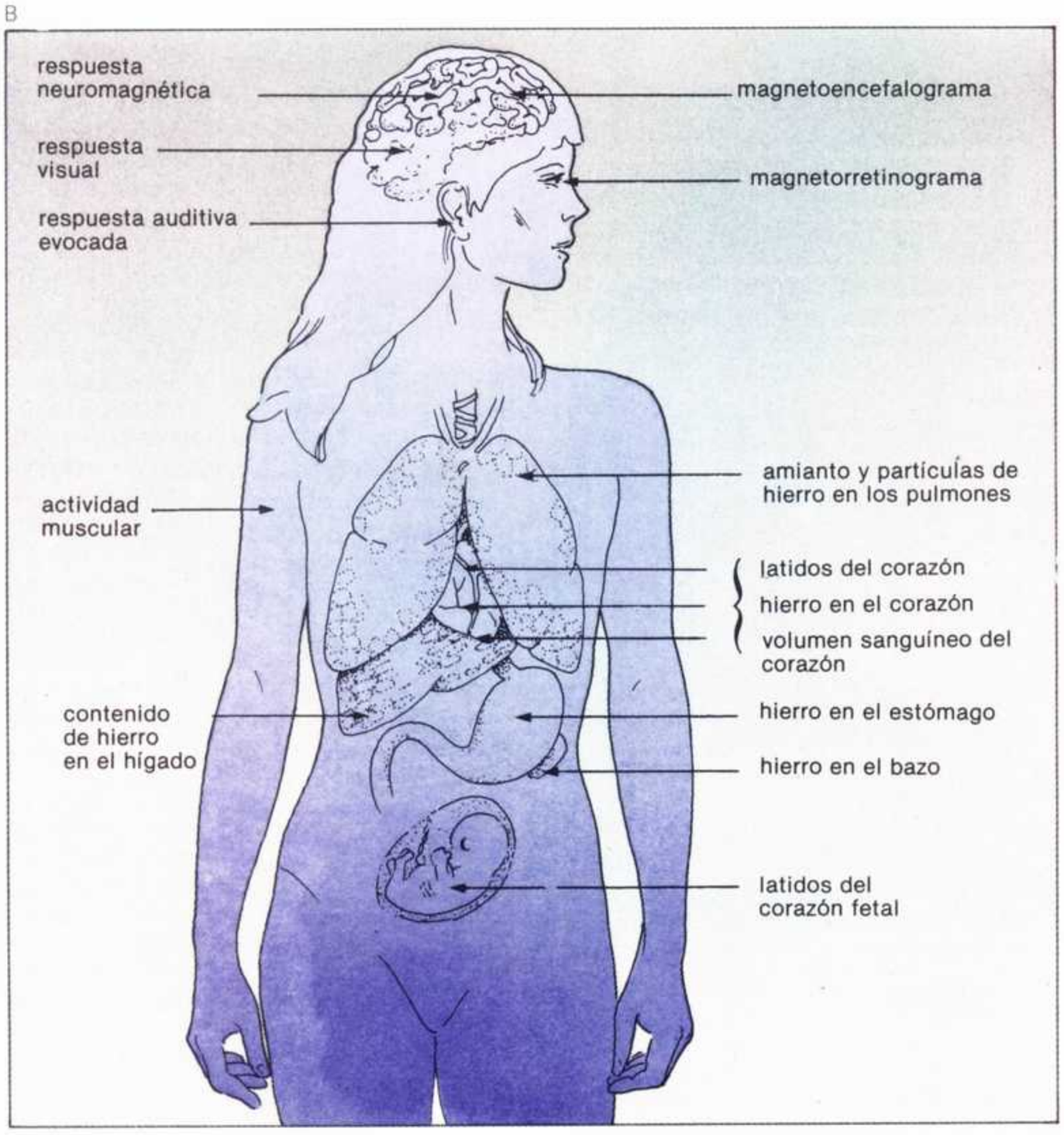
¿Aplicaciones biomédicas para el gran público?

Desde muchos puntos de vista, la aplicaciones biomédicas de los SQUI son sin duda las que representarán e mayor interés para el gran público. Si embargo, las promesas iniciales toda vía no han sido seguidas por realiza ciones a gran escala. El primer triunf de los SQUID en medicina es evidente mente su gran sensibilidad: la mayo parte de las señales biomagnética tienen una intensidad extraordina riamente pequeña, lo que explica que s las haya ignorado durante mucho tiem po. Su segundo triunfo reside en la ela boración de bobinas detectoras de gra diente de campo gracias a las cuale fueron realizadas las primeras medida biomagnéticas en 1972 por D. Cohen y J. Zimmerman. Éstas se orientaron a los impulsos de flujo magnético asociados a los latidos del corazón. Luego las téc nicas han progresado (las bobinas, lla madas diferenciales, detectan el gra diente del gradiente del campo magnéti co) y sus rendimientos permiten, en e caso de una mujer embarazada, distin guir netamente las señales procedente del feto y de la madre. Finalmente hay que insistir en que estas medida biomagnéticas constituyen un método de diagnóstico poco traumatizante y po co molesto para el paciente. En efecto los modernos criostatos están muy bien aislados y, pese a que las bobinas su perconductoras están a una temperatu ra de algunos kelvin (unos —270 °C) pueden colocarse sin problemas a tan sólo un centímetro del cuerpo del pa ciente. Como contrapartida, el operador cita al menos un inconveniente: su eno josa tendencia a detectar también los campos parásitos originados en otros servicios del hospital y que pueden ser centenares de veces mayores que los que surgen del cuerpo. Para librarse de estas fuentes secundarias es a veces necesario blindar magnéticamente la habitación, por ejemplo tapizando las paredes con aluminio (metal no magnético) de varios centímetros de espesor (fig. 6). El corazón no es el único órgano capaz de efectos magnéticos; los músculos y el cerebro son también sede de campos magnéticos muy débiles. Los métodos clásicos de investigación de las señales eléctricas que salen del cuerpo, como la electrocardiografía o la electroencefalografía, requieren la utilización de electrodos fijados en el pa

A



B



ciente y la localización de las fuentes de estas señales es difícil. Con los SQUID, y especialmente cuando las bobinas detectoras son del tipo diferencial, la detección es más fácil. Pero estos sistemas presentan otras ventajas potenciales: por ejemplo, cuando se estudian las señales originadas en el cerebro, los movimientos de los ojos del paciente perturban menos un magnetoencefalograma que un electroencefalograma. De esta forma, Williamson y Kaufman, de Nueva York, han podido identificar en 1980 las partes del cerebro relacionadas con la audición y la visión (*La Recherche*, nº 112, p. 722, junio de 1980). A partir de ahora se sabe registrar la señal magnética asociada al impulso de la corriente retiniana de respuesta a un destello de luz visible, lo que puede ayudar a los estudios sobre las lesiones de la retina. La señal procedente del ojo tiene una intensidad de unos 0,1 pT, es decir, cien veces más débil que la de los latidos del corazón.

Otra aplicación de los SQUID objeto de numerosos trabajos en todo el mundo es el seguimiento del hierro (elemento susceptible de imanarse) en el cuerpo. En 1973, Cohen y sus colaboradores detectaron trazas de hierro en el estómago de personas que habian tomado alimentos enlatados y, en 1980, Ferrell, de la Case Western University, midió la cantidad de hierro contenido en el higado con una precisión del orden de 10^{-5}. Como el nivel normal de hierro es de 3×10^{-4}, esta sensibilidad resulta preciosa ya que se sabe que una deficiencia de hierro en el higado es un signo corriente de desnutrición en el hombre y que un exceso está relacionado con desórdenes genéticos. Más interesante es la detección de partículas de magnetita asociadas a las partículas de amianto. Por ejemplo, la existencia de partículas magnéticas en los pulmones de los soldadores pone de manifiesto una débil contaminación por polvo de amianto, signo precursor de la asbestosis que, en este caso, se puede prevenir

Figura 7. **Los campos magnéticos estáticos y pulsantes asociados al cuerpo humano pueden detectarse con la ayuda del SQUID** (A). **Estos campos son al menos un millón de veces más débiles que el campo magnético terrestre, lo que resalta la alta sensibilidad de los magnetómetros de SQUID. La utilización de los SQUID permite la localización precisa de las fuentes de campos magnéticos por medio de un método no «invasivo»** (B). **Todas las fuentes señaladas en este esquema han sido observadas con la ayuda de SQUID. Han sido particularmente estudiadas las señales que emanan del corazón, así como las que provienen de diferentes partes del cerebro como respuesta a estímulos visuales y auditivos.** (Foto A: NBS.)

Los SQUID como componentes del futuro ordenador ultrarrápido.

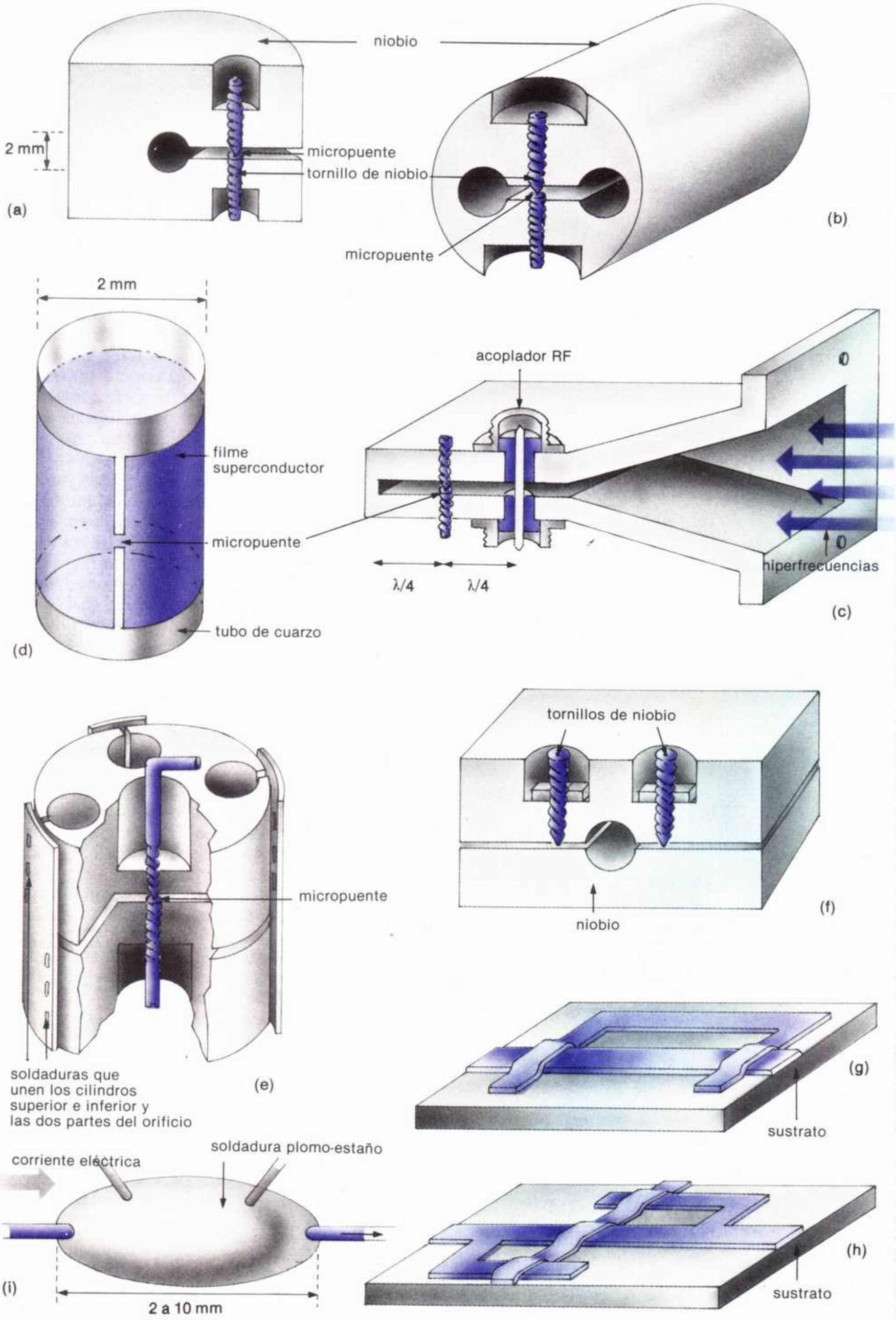
Realización y utilización práctica de los SQUID

■ Hay dos clases de SQUID, alternos y continuos, con uno y dos micropuentes respectivamente. Se obtienen de diversas formas; se puede crear un contacto casi puntual entre los dos bornes de una ranura practicada en un trozo de niobio con la ayuda de un tornillo del mismo metal, o bien depositar por evaporación una película delgada de niobio (o de otro superconductor) sobre un soporte en Y realizando un boquete de algunos milímetros de largo. Un tercer método consiste en formar un punto con la ayuda de una barrera aislante muy delgada, generalmente una película de óxido, colocada entre dos superconductores.

Hasta aquí hemos presentado esquemáticamente el SQUID como un anillo superconductor con una o dos barreras. En la práctica, el anillo es remplazado por un orificio circular practicado en un material superconductor, más corrientemente, por dos agujeros que sirven para el acoplamiento del dispositivo con el campo magnético y el campo de radiofrecuencia. Una configuración de este tipo presenta una inductancia más pequeña y, por tanto, una sensibilidad mayor; además, sólo detecta los gradientes del campo magnético.

Los diferentes tipos de SQUID representados aquí utilizan estas diversas posibilidades. Los SQUID alternos, de un solo micropuente, tienen un solo agujero (a) o dos (b) y entonces son sensibles al campo magnético o a su gradiente. En el caso de un SQUID de hiperfrecuencias, acoplado a una guía de ondas, la potencia reflejada es modulada por la corriente que circula por el hilo del cable de radiofrecuencia (c). En un SQUID de película delgada, el punto débil está constituido por un estrangulamiento de la película superconductora depositada por evaporación (d). Finalmente, es posible disminuir aún más la inductancia de un SQUID y, por tanto, aumentar su sensibilidad, realizando numerosos agujeros equivalentes a otros tantos anillos en paralelo. El dispositivo representado en (e) posee cuatro agujeros, pero J. Zimmerman, del National Bureau of Standards (Boulder, Estados Unidos) ha fabricado SQUID que comprenden hasta treinta y seis agujeros.

Los SQUID continuos, de dos barreras, se realizan a veces con la ayuda de tornillos (f). Pero también se utilizan uniones túnel que llevan bandas superconductoras de algunas décimas de milímetro de ancho separadas por una capa de óxido; es el caso del magnetómetro en (g) y del gradiómetro en (h). En (i) se ha representado EL SCLUG de J. Clarke (Superconducting Low Inductance Undulating Galvanometer), realizado a partir de una gota de soldadura.



y curar (fig. 7). Siempre gracias a los SQUID, algunos equipos han obtenido información sobre el volumen de sangre que circula por diferentes partes del cuerpo inyectando al paciente sustancias químicas paramagnéticas. En todas estas experiencias los resultados sólo son cuantitativos si se toma la precaución de medir con precisión la distancia que separa el SQUID del órgano de estudio, lo que puede hacerse utilizando ultrasonidos.

El futuro nos dirá en qué medida se convertirán los SQUID en instrumento de diagnóstico habitual. Los médicos ya disponen de un amplio abanico de técnicas rivales, y podemos esperar que en los próximos años se libren en la literatura no pocas batallas entre las diversas escuelas. Sin embargo, ya ahora, los conocimientos relativos a los campos magnéticos continuos o pulsantes asociados al cuerpo humano pueden completar los registros obtenidos con rayos X. Si hay que creer a los equipos que desarrollan las aplicaciones médicas de los SQUID, es probable que puedan contribuir a la realización de un detector de campos magnéticos engendrados por el conjunto del cuerpo humano.

Hacia el ordenador criogénico

También se abre un amplio campo de aplicaciones para los SQUID en otra especialidad, la de los ordenadores (véase *La Recherche*, n.º 98, p. 299, 1979). Queda fuera del alcance de este artículo explicar detalladamente el objetivo del ordenador criogénico, por lo que nos contentaremos con desvelar las promesas que encierra. El muy pequeño tiempo de conmutación de las uniones túnel del estado superconductor al estado de resistencia y su muy baja disipación de energía hacen de los SQUID excelentes candidatos para la realización de memorias muy rápidas. El tiempo de conmutación de una unión Josephson depende de la capacidad y de la inductancia de la barrera, y ambas pueden reducirse lo suficiente para obtener un tiempo de conmutación del orden del picosegundo. En la práctica, al tiempo de respuesta de los circuitos elementales hay que añadir el tiempo de paso de las señales de un elemento a otro del ordenador, y se sabe que las ondas electromagnéticas tardan aproximadamente 1 nanosegundo en recorrer 30 cm. Las memorias Josephson, debido a que disipan poca energía, podrán ocupar un volumen más pequeño que el de las memorias semiconductoras, a igualdad de capacidad, y serán por tanto más rápidas.

El fundamento del funcionamiento de un elemento de memoria Josephson es sencillo. Supongamos que atraviesa la barrera una corriente inferior a la corriente límite y que por una banda superconductora situada cerca de la barrera pero aislada de ella circula una corriente; entonces la barrera, debido al campo magnético que se crea, pasa al estado de resistencia. Se produce un fenómeno de histéresis, de memoria, y la barrera permanece en el estado resistivo hasta que se suprime la corriente que la atraviesa. Este fenómeno no es un inconveniente, ya que el ordenador puede alimentarse con corriente alterna mejor que con corriente continua (se utilizan frecuencias del orden de 500 MHz) y la barrera funciona en los dos sentidos. La intensidad de corriente en el elemento de base es de algunas décimas de miliamperio y la diferencia de potencial en los bornes de la unión es de unos tres milivoltios. Es decir, el consumo de cada circuito elemental es muy bajo. Consideremos un ordenador SQUID que comprenda una parte central formada por 64 filas en 64 columnas y que contenga, por tanto, 4 096 bites de información. Un elemento como éste leería en 0,5 milisegundos, escribiría en un milisegundo y consumiría aproximadamente 6 milivatios. Sería posible adjuntarle una memoria central más lenta, cuyos

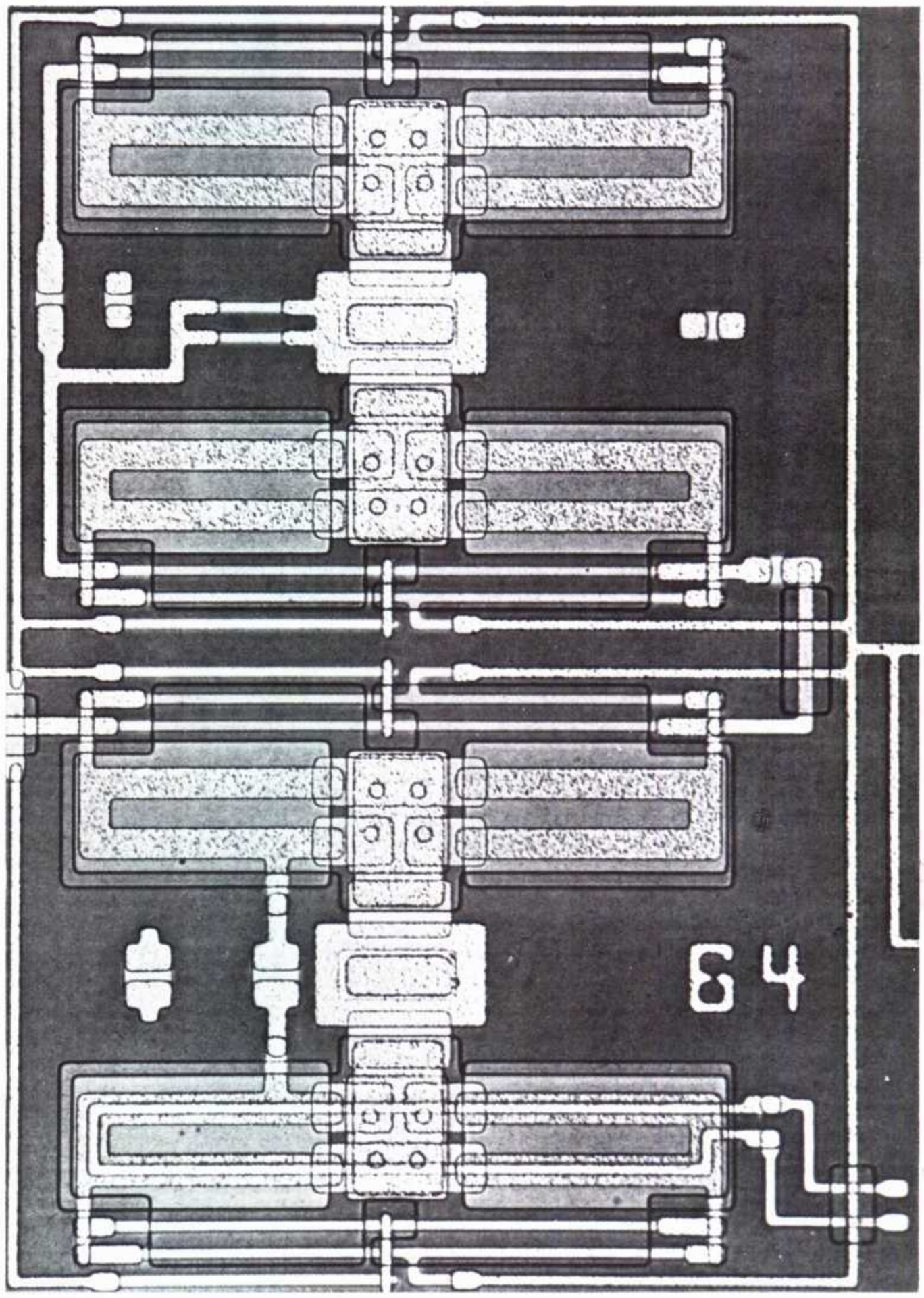


Figura 8. **Gracias especialmente a los trabajos de los laboratorios IBM de Nueva York y Zurich, el efecto Josephson continuo tiene ahora una aplicación esencial en los ordenadores criogénicos. Aquí vemos una parte de la red de uniones depositadas por evaporación sobre un único componente, que constituye por sí mismo la unidad central del ordenador.** (Documento IBM Zurich.)

¿Cuál es el interés de los constructores de ordenadores por los SQUID?

elementos conmutarían en 15 ms. En esta hipótesis, una sección de 2 048 bites consumiría 40 μW.

Además de elementos de memoria, también sería posible fabricar circuitos lógicos elementales, entradas ADN y OR por ejemplo. En efecto, sucede que la tensión de alimentación es pequeña y la forma de las características de las barreras se presta a su utilización como reguladores de tensión, y que, además, pueden disponerse en serie varios elementos. Sólo falta evitar las sobreintensidades cuando conmuta la barrera, ya que podrían provocar la conmutación de otros elementos. Esto se consigue disponiendo resistencias en serie con la unión. Evidentemente, la potencia disipada por estas resistencias se pierde, pero el consumo total sigue siendo lo bastante pequeño como para que esto no constituya un inconveniente importante: la potencia necesaria todavía es un centenar de veces más baja que en otros ordenadores. El éxito de los ordenadores Josephson se ha visto frenado durante mucho tiempo por el problema de la soldadura de las plaquetas de circuitos. ¿Qué metal utilizar? Era necesario encontrar uno que fuese sólido (y superconductor) a la temperatura del helio líquido y fácil de fundir a la temperatura ambiente. Los investigadores de IBM, especialmente, han propuesto el mercurio, metal líquido a 25 °C, y han desarrollado un procedimiento gracias al cual el sueño y la pesadilla de los técnicos electrónicos se ha convertido en realidad, ya que basta actuar sobre la temperatura para que las placas de circuitos se suelden y se desuelden automáticamente.

Diversas sociedades han realizado importantes esfuerzos de investigación para obtener la fiabilidad de las numerosas uniones Josephson necesarias para la construcción de un ordenador. No pueden dejarse de citar, muy especialmente, los trabajos de los laboratorios de investigación de IBM en Nueva York y Zurich (fig. 8). El objetivo que se persigue es la realización de un ordenador superconductor 50 veces más rápido que los ordenadores existentes. Sin embargo, hay otros métodos en competición que, si bien son menos rápidos, tienen la ventaja de ser menos costosos y de trabajar a temperaturas normales. De manera que la necesidad estética de los ordenadores superconductores tiene que amoldarse a la fría realidad de la alta competitividad industrial.

Una invasión inesperada

Confío en no haber confundido al lector al presentarle una multitud de aplicaciones reales o posibles de los SQUID en campos diversos de la ciencia y la tecnología. Varios fabricantes comercializan actualmente sistemas de SQUID. No se trata de los más sensibles, pero los rendimientos bastan para numerosas aplicaciones, y mejoran regularmente a medida que aumenta la demanda. El interés de los constructores de ordenadores por los SQUID debería conducir a la optimización de su construcción, ya que la fiabilidad de un gran número de uniones superconductoras es indispensable para el éxito del ordenador criogénico ultrarrápido.

Hace algunos decenios se creía que las aplicaciones de la superconductividad se limitarían a utilizaciones a gran escala como, por ejemplo, la producción y el transporte de electricidad o la fabricación de imanes superconductores; no se sospechaban derivaciones hacia la informática o la metrología. Con los SQUID cambia nuestro punto de vista: parece que estas aplicaciones de la superconductividad son las del futuro. El número de programas actualmente en curso en Francia, Gran Bretaña y otros países, que tienen como objetivo explorar las aplicaciones de los SQUID, lo testimonia. Algunos resultados quedarán como curiosidades de laboratorio, pero es casi impensable que un dispositivo que presenta un abanico tal de posibilidades no penetre progresivamente en nuestra vida cotidiana. ■

Para más información:

■ *Superconducting Quantum Interference Devices and their applications*, Edited by H.D. Hahlbohm and H. Lubbig, Walter de Gruyter, Berlin, 1977.

■ SQUID '80 Edited by H.D. Halhbohm and H. Lubbig, Walter de Gruyter, Berlin, 1980.

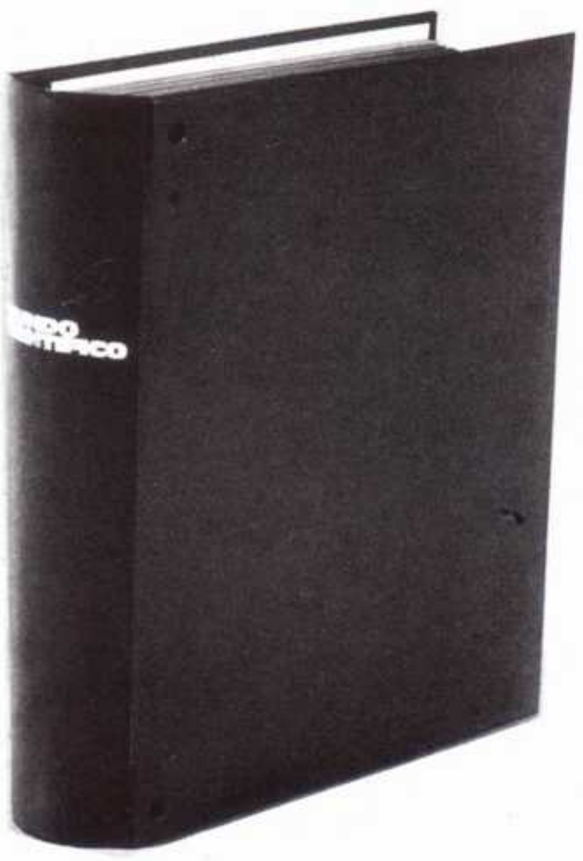
■ *Superconductor applications: SQUID and machines*, Edited by B.B. Schwartz and S. Foner, NATO ASI series B21, Plenum, New York, 1977.

■ D. Cohen, «Magnetic fields of the human body», *Physics Today*, p. 35-42, agosto 1975.

■ Comunicaciones presentadas en el Coloquio internacional: «Champs magnétiques faibles d'intérêt géophysique et spatial», *Rev. de Phys. Appliquée*, 5, n.º 1, febrero 1970.

COLECCIONE
MUNDO CIENTIFICO

A LA VENTA LAS TAPAS



Con sistema especial de varillas metálicas que le permite *encuadernar usted mismo.*

Mantenga *en orden y debidamente protegida* su revista de cada mes.

Cada ejemplar puede extraerse del volumen cuando le convenga, sin sufrir deterioro.

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
Editorial Fontalba, Valencia, 359, 6.º
Barcelona-9 (España)

Deseo que me envíen:
☐ las TAPAS ..... 650 ptas.*

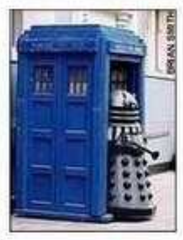
Efectuaré el pago mediante:
☐ contrarrembolso más gastos de envío
☐ cheque adjunto

Nombre .....
Profesión ..... Tel. .....
Domicilio .....
Población ..... D.P. ....
Provincia ..... Firma

*Precio válido sólo para España.

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/

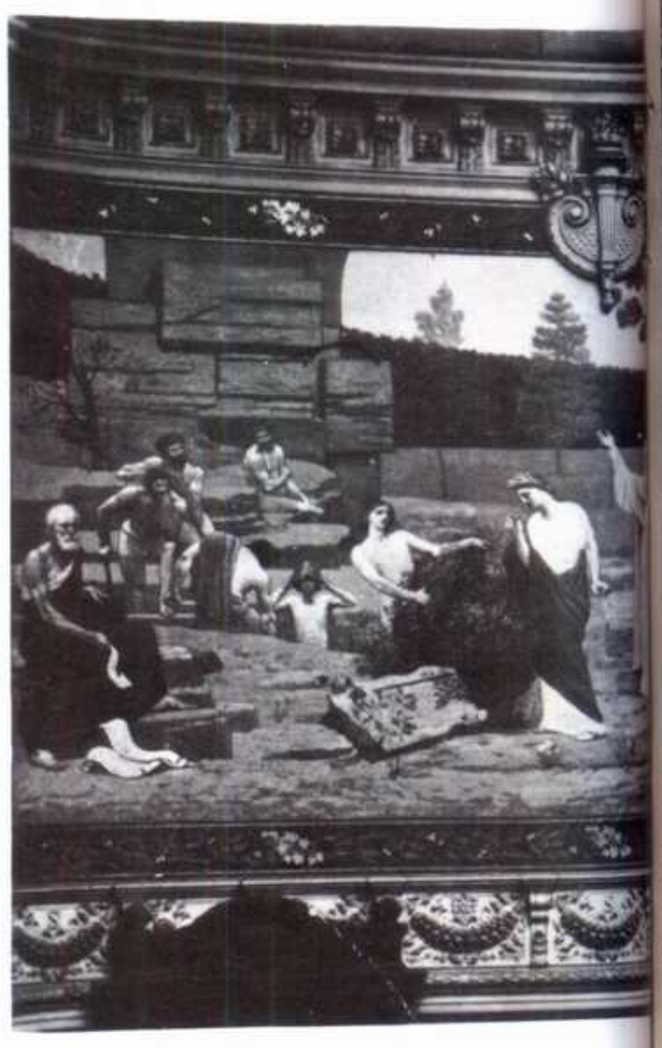
Mito y ciencia

■ Es frecuente oponer mito y ciencia. Desde el punto de vista epistemológico el contraste parece evidente, el mito es arbitrario, irracional, no confirmable por la experiencia, mientras que la ciencia está metódicamente construida, es verificable experimentalmente, etc.

■ Sin embargo, siguen planteadas algunas cuestiones. De un lado, ¿es cierto que los conocimientos científicos son totalmente transparentes y objetivos?, y del otro, ¿cuáles son los ámbitos respectivos de mito y ciencia en el campo de la ética?

■ En ambos casos, las discusiones son siempre vivas. Con la finalidad de dar una idea de los argumentos principales hemos interrogado a tres autores.

El primero es el biólogo inglés John Maynard Smith, teórico de la evolución; el segundo, Paul Valadier, jesuita, director de la revista *Études;* el tercero, Evry Schatzman, astrofísico (observatorio de Niza) y presidente de la Unión racionalista.



Las construcciones del espíritu humano

por John Maynard Smith

■ Después de una emisión de radio que acababa de hacer sobre Charles Darwin recibí por correo un texto de Don Smith titulado *¿Por qué hay homosexuales? ¿Por qué la evolución no ha eliminado a los homosexuales hace millones de años?*[1] El problema es real. Que pueda haber en medida notable, por muchó tiempo, comportamientos sexuales ambiguos en nuestra especie es algo que se comprende mal, y ciertamente no contemplado por la teoría darwinista.[2] La principal idea de Smith es que la persecución de los homosexuales se ha apoyado y justificado en la existencia de una teoría de la evolución que afirma que aquéllos presentan una adaptación inferior, ya que no reproducen su tipo; al propio tiempo estima que la única manera de preservar a los homosexuales de la persecución sería demostrando que han cumplido una función esencial en la evolución.

La teoría evolucionista que propone en lugar del darwinismo no me parece particularmente convincente, aunque no sea ni molesta ni baladí; está al margen de mi propósito. Creo que Smith hubiera hecho mejor diciendo: «La gente desprecia a los homosexuales con el pretexto de que la homosexualidad no contribuye a la adaptación biológica, y sin embargo ¡se equivocan! Su actitud es tan poco razonable como la de que se persiguiera a los matemáticos so pretexto de que resolver ecuaciones diferenciales tampoco contribuye a aquélla. Una teoría científica (sea la darwiniana o cualquier otra) no tiene nada que decir respecto del valor de un ser humano». Lo que yo quiero poner de manifiesto es que Smith pide que la biología evolucionista sea un mito, es decir, una historia portadora de un mensaje moral. No es el único. Elaine Morgan reconsideraba no hace mucho el origen del *Homo sapiens* resaltando el papel de la mujer y de la relación madre-niño (relación sobre la que Don Smith se abstiene de opinar).[3] Por otra parte, en una época anterior, George Bernard Shaw presentó deliberadamente, en su obra *En remontant a Mathusalem,* un mito evolucionista, ya que encontraba en el darwinismo justificación para el egoísmo y la brutalidad, y en el lamarckismo una teoría justificadora del libre albedrío y de la acción individual.

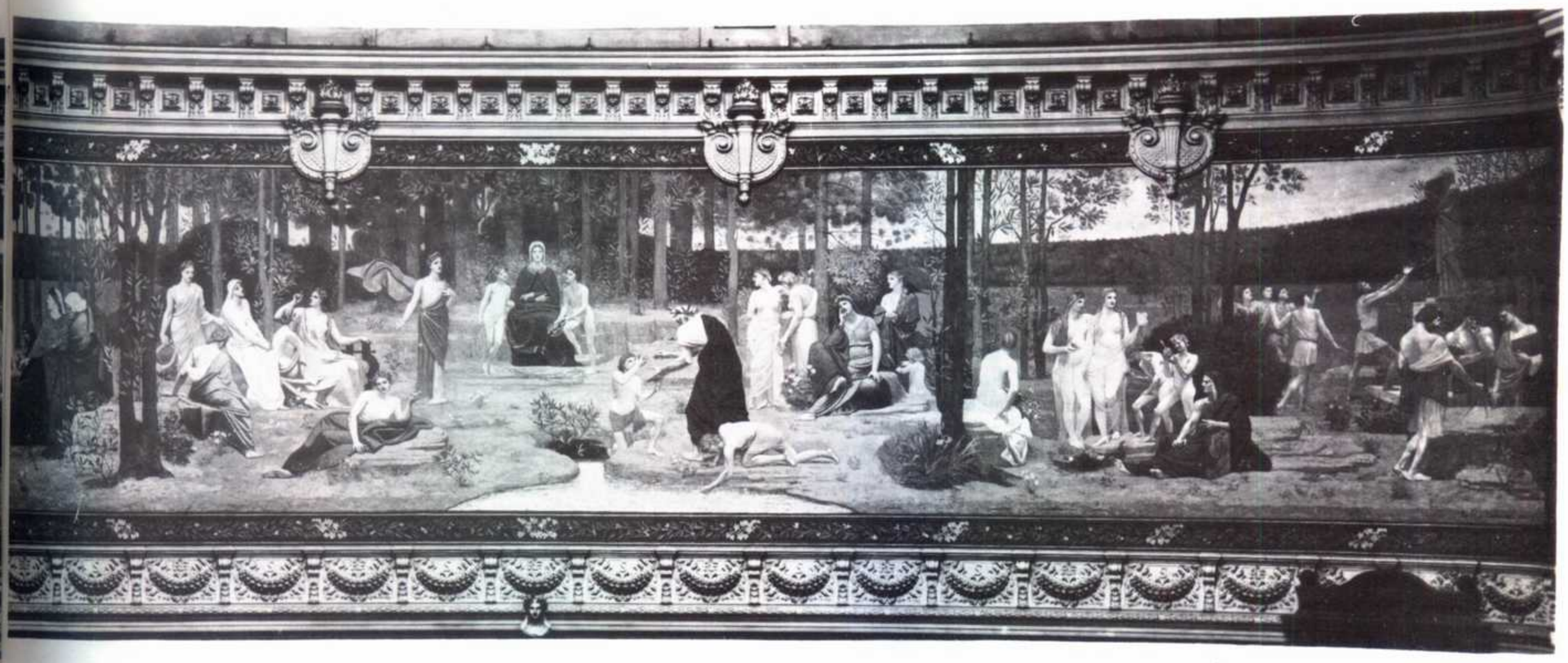
Con todo, no debemos inquietarnos ante Don Smith, Elaine Morgan o George Bernard Shaw. Todas las sociedades han creado mitos sobre el origen del universo y del hombre con miras a definir el lugar del hombre en la naturaleza y, así, conferirle el sentimiento de los fines y de los valores. Entre otras cosas, el darwinismo es una descripción del origen del hombre. Por tanto ¿qué tendría de extraño considerarlo portador de un mensaje moral?

Mito y símbolo en los Dorzé

Nunca he visto muy claro cómo se llega al mito, al símbolo y a la tradición. Por ello me parece más fácil comenzar el análisis por su examen en una sociedad muy distinta a la mía. Paradójicamente, este rodeo nos hará ganar tiempo; la claridad procede a veces de la distancia. Desde este punto de vista *Le symbolisme en général* de Dan Sperber me parece revelador.[4] La obra trata en general del problema de interpretación de los símbolos, pero lo ilustra con ejemplos tomados de las investigaciones realizadas por el autor en África cerca de los Dorzé.

El primer aspecto importante estriba en cómo reconoce aquél que una cosa es simbólica. «Me explican cómo cultivar los campos. Yo escucho distraídamente. Se me dice que si el cabeza de familia no echa por sí mismo las primeras semillas, la cosecha será mala. Atiendo al instante (...) O, para poner otro ejemplo, cuando un amigo Dorzé me dice que la gravidez de las mujeres dura nueve meses, yo pienso: "bueno, ellos lo saben". Cuando añade: "pero en tal clan dura ocho o diez meses", me digo "es simbólico". ¿Por qué? Porque es falso.» Qué significación confiere la gente a proposiciones que, a ojos de un extraño, parecen manifiestamente falsas?

(1) *Why are there «gays» at all? Why hasn't evolution eliminated «gayness» millions of years ago?* Quantum Jump Publications, 1978.
(2) Los comportamientos sexuales de un tipo lo suficientemente afirmado como para reducir el nivel de adaptación darwiniana de los individuos son muy raros entre los animales. Nuestra especie humana parece particularmente variable por lo que respecta a su comportamiento sexual.
(3) Elaine Morgan, *The descent of woman* Souvenir Press, 1972.
(4) Dan Sperber, *Le symbolisme en general.* París, Hermann, 1974.



La propia ciencia es en nuestra cultura objeto de un culto casi religioso que la presenta con un aura «mítica». Este fresco de Puvis de Chavannes se encuentra en el gran anfiteatro de la Sorbona. Se titula, significativamente, *El bosque sagrado;* el artista representó en él una veintena de artes y ciencias. (Foto Buloz.)

He aquí lo que responde Sperber: cuando uno oye un enunciado que en su sentido literal parece erróneo, no se dice a sí mismo «es una equivocación evidente», sino que intenta encontrarle una significación simbólica buscando una analogía formal entre la estructura del enunciado y una estructura ya familiar. Tomaré todavía otro ejemplo, aportado asimismo por Sperber. Los Dorzé consideran al leopardo un animal cristiano que, por tanto, no ataca al ganado en días de ayuno eclesiástico. Sperber propone la siguiente interpretación: Los Dorzé justifican el hecho mediante una analogía: los leopardos son a las hienas lo que los Dorzé a sus vecinos, analogía a la que llegan como sigue: el leopardo y la hiena son los dos grandes carnívoros de la región, contrariamente a la hiena, el leopardo mata todo lo que come, y no come sino carne fresca; los Dorzé se diferencian de sus vecinos en que no se alimentan más que de animales recién sacrificados; a diferencia de sus vecinos, los Dorzé son cristianos; de todo lo cual resulta que diciendo que los leopardos son cristianos se indica algo de la relación entre los Dorzé y sus vecinos.

Este ejemplo ilustra diversas nociones; en primer lugar, nosotros intentamos interpretar la información simbólica porque nos resistimos a admitir que pueda carecer de significado.(5) Muéstresenos una mancha de tinta y veremos en ella murciélagos, dragones y brujas. Esta resistencia a admitir que un objeto simbólico sea un «ruido» desprovisto de sentido, explica la adivinación por el tarot, las hojas de té, el hígado y el omóplato de los animales, o por los bastoncillos del *Yi Jing*. Quizá haya que imputarle también el desarrollo extrañamente tardío de una teoría matemática de la probabilidad, o de toda teoría científica que comporte un elemento estocástico.(6) Como señala Sperber: «El pensamiento simbólico es precisamente capaz de transformar el ruido en información».

En segundo lugar, el medio que nos permite comprender un esquema que o era inicialmente ininteligible consiste en reconocer sus similiaridades estructurales con un esquema previamente comprendido. La ciencia hace un gran uso de ese procedimiento que, a su vez, se ha formalizado en una ciencia de pleno derecho, la cibernética. Se puede sostener que la principal aportación de las matemáticas a la ciencia no reside en su capacidad para obtener una conclusión de unas premisas dadas sino en poner de manifiesto una identidad estructural entre dos sistemas dispares; la de la antropología estructural ha sido revelar los isomorfismos subyacentes a ideas distintas o a las ideas y los sistemas sociales. La significación de los símbolos depende fundamentalmente de la posición que ocupan en estos isomorfismos.

En tercer lugar (y ello tiene una importancia capital en el presente contexto), el mito tiene por función proporcionar una orientación moral, una apreciación, más que una ayuda técnica. Con todo, no acierto a ver hasta qué punto distingue la gente entre dichas funciones. En el caso de los leopardos y los Dorzé, Sperber nos dice que éstos vigilan sus rebaños exactamente igual en los días de ayuno; parece, pues, que hicieran la distinción señalada y que no tomaran al pie de la letra la interpretación mítica relativa a los leopardos. Sin embargo, es más fácil hacer la distinción en el caso de un cuento o de un mito que se oye o que se cuenta que en el caso de un ritual que se ejecuta. El hombre que antes de partir para el combate afila su lanza y observa ritos purificatorios (como, entre otros, oír misa y limpiar el fusil) puede atribuir a ambos gestos igual efectividad. Y, sin duda, con uno prepara su lanza y con el otro a sí mismo. Y si decimos del primero que es más científico que el segundo es solamente porque comprendemos mejor la metalurgia que la psicología.

Sin embargo, parece útil distinguir entre los procesos cuya función es modificar el mundo exterior y aquellos que van a modificar nuestro estado consciente. Paralelamente, también es útil distinguir entre las enseñanzas técnicas y los cuentos tendentes a persuadirnos de que ciertas cosas son «buenas». Así, en la educación de nuestros niños ponemos gran cuidado en hacerles percibir a qué categorías pertenecen las informaciones que les transmitimos. Los cuentos que les leemos, por ejemplo, ponen en escena —en una proporción asombrosamente grande— animales parlantes e incluso locomotoras parlantes. Se diría que queremos estar seguros de que no los van a tomar al pie de la letra.

(5) Este rechazo es selectivamente ventajoso para un organismo inteligente. Es mejor perder el tiempo con esquemas desprovistos de significado que confundir la forma en el árbol, que acaso sea la del leopardo. Tiene también una gran importancia cultural. ¿Dónde estaríamos actualmente si se hubiera considerado que el movimiento de los planetas no tenía sentido? Sin embargo, nunca es fácil decidir cuándo es preferible considerar una forma como debida al azar.

(6) Véase mi artículo «*Symbolism and chance*» en J.A. y R.S. Cohen (eds.) *Scientific philosophy today: essays in honor of Mario Bunge*, Boston studies in the philosophy of science, Reidel (en prensa).

Aunque la ciencia presenta afinidades con el mito, no cabe la identificación pura y simple de ambas formas de pensamiento.

¿Por qué existe el Universo? ¿Cuál es la causa primera de todos los objetos y de todos los seres que nos rodean? La ciencia no está en condiciones de ofrecer la respuesta. Para recurrir a una fórmula corriente, la ciencia explica el «cómo» pero no puede decir nada del «porqué». Por contra, las grandes mitologías y las grandes religiones enfrentan tales cuestiones utilizando su propio lenguaje, refiriéndose por ejemplo a la existencia de un Dios trascendente y todopoderoso. (Grabado alemán del siglo XIX. Bibliothèque des Arts decoratifs, París. Foto J.L. Charmet.)

¿Hay diferencia entre ciencia y mito?

El ejemplo de Don Smith y el de G.B. Shaw muestran que distinguimos con dificultad entre ciencia y mito. Una reacción a esta dificultad consiste en afirmar que *no hay* diferencia entre ambos. La teoría de la evolución no tiene más fundamento en su pretensión de verdad objetiva que el *Génesis*. Esta afirmación enfurecerá a un número considerable de científicos, pero el furor no es argumentación. En el siglo XIX prevalecía la idea de que el método científico, por inducir teorías a partir de la observación, venía a desembocar en conocimientos seguros. De ser así, nosotros seríamos capaces de distinguir la ciencia del mito, ya que la verdad de un mito no puede —evidentemente— establecerse por inducción. Sin embargo, Darwin y Einstein nos han desprovisto de esta confianza en la inducción o, dicho de otra manera, nos han liberado de tal prisión. Constatando la mutabilidad de las especies, Darwin demuestra que no hay en el Universo un número fijo y finito de cosas, cada una de las cuales de esencia conocible; no hay una «idea» platónica para cada especie; o de otra manera, la inducción no puede llevarnos a la certidumbre de que existe un conjunto finito y conocible de objetos.(7) Si Darwin demostró la imposibilidad de adquirir una certidumbre por inducción, Einstein demostró que aquel terreno (la mecánica clásica) en el que los científicos se mostraban más seguros constituía un error en el peor de los casos, o en el mejor no era más que un caso particular de una teoría más general. Después de esta doble demolición, el único conocimiento seguro y cierto con el que vamos a poder contar será el de nuestra muerte.

Pero una cosa es decir que el conocimiento científico no puede ser cierto, y otra, que la ciencia no se distingue del mito. Popper ha explicado cómo, impresionado por la teoría de Einstein, y queriendo particularmente distinguirla de la de Freud, Marx y Adler se vio impelido a proponer la refutabilidad como criterio para distinguir entre ciencia y pseudociencia.(8) Lo propio de una teoría científica, dice, es que se pueden concebir observaciones que, en caso de realizarse, demostrarían la falsedad de aquélla. Por el contrario, prosigue, no es concebible del comportamiento humano que pueda constituir una refutación experimental de la teoría freudiana.

Las críticas levantadas contra Popper se fundan principalmente en el hecho de que no hay observaciones exentas de teoría. Toda observación está sujeta a una interpretación, consciente o no. En consecuencia, jamás puede haber motivos ciertos para rechazar una teoría científica; de donde, que la distinción entre ciencia y pseudociencia desaparece.

A mi juicio, estas críticas carecen de propósito. Si Popper pretendía que el conocimiento científico es seguro, la imposibilidad de una refutación sería, efectivamente, nefasta. Sin embargo, de esta forma no se avanza nada, solamente se subrayan, simplemente, dos cosas: en primer lugar, que una teoría científica debe afirmar que ciertas cosas no pueden producirse, de tal forma que la teoría es refutada *si* se aceptan ciertas observaciones; y en segundo lugar, que hay una asimetría lógica, ya que aceptando ciertas observaciones es posible refutar una teoría, pero no establecer su exactitud. Algunos filósofos de la ciencia más recientes, especialmente Lakatos, han descrito de forma más concreta el comportamiento de los científicos enfrentados a un desacuerdo entre teoría y observación, pero sin debilitar, a mi juicio, el criterio de demarcación propuesto por Popper.(9)

Y, no obstante, toda una corriente de ideas tienden a rechazar esta distinción. Subyace a ellas, en parte, una repugnancia perfectamente legítima frente a ciertas consecuencias de la tecnología en el mundo moderno; también, un deseo no menos legítimo de conferir el mismo valor a las ideas de otros pueblos. Común a ambos tipos de reacción es la convicción, que yo comparto, de que las teorías científicas no constituyen el único tipo de ideas de las que tenemos necesidad. De lo cual no se sigue, sin embargo, que las ideas científicas no puedan distinguirse de las demás. ¿Cuáles son, pues, los orígenes intelectuales de esta noción según la cual la ciencia no se distingue del mito?

Ciencia y socialismo

Uno de sus orígenes reside, curiosamente, en el marxismo, filosofía que ha llevado a interpretaciones muy distintas de la ciencia. Una de éstas es la que procede de J.D. Bernal(10) para quien la aportación capital de la ciencia es que ha hecho posible el socialismo; proporcionando las técnicas necesarias para satisfacer las necesidades del pueblo. En el sistema capitalista la ciencia sufre frustración, ya que su potencial de mejorar la condición humana no se realiza plenamente. Al estimar que el capitalismo falseaba la ciencia —por ejemplo, utilizándola para la investigación militar— Bernal no parecía pensar que el capitalismo le impediría, por tanto, progresar en su comprehensión de la naturaleza. En este punto de vista

(7) En *Darwin and his critics*, Harvard University Press, 1973, D.L. Hull estima que la hostilidad de los filósofos de la ciencia contemporánea de Darwin frente al *Origen de las especies* procedía menos de no haber empleado los métodos inductivos preconizados que del hecho de que tales métodos, si tenía razón, eran impracticables.
(8) Karl. P. Popper, *Conjectures and refutations;* Routledge y Keagan Paul, 1963.

coincidía con Marx, ya que efectivamente este último excluía claramente la ciencia del dominio de las ideas, que, en su opinión, reflejaban los intereses de clase de quienes las defendían (por ejemplo, en el dominio de la religión, de la filosofía o del derecho).

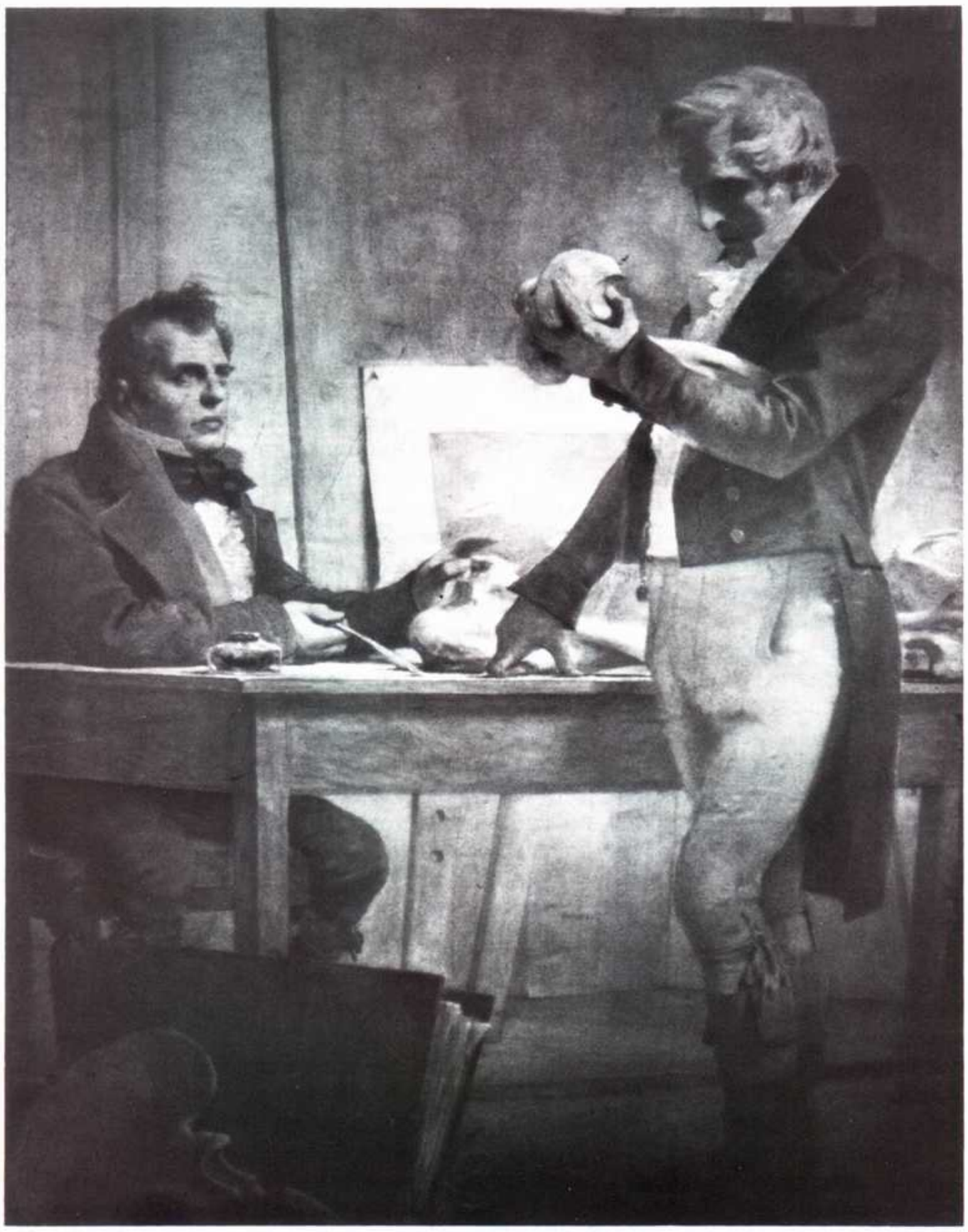
Bernal veía en la ciencia, pues, la esperanza suprema del futuro, y a veces hablaba de ella como si estuviese dotada de una voluntad pesonal y no fuera la actividad de unos individuos, los científicos, que viven en sociedad. Sin embargo, en el seno del marxismo, otra tendencia conduce a conclusiones distintas. En un artículo escrito en 1931, Hessen sostenía que Newton no solamente había sido influenciado por los problemas técnicos de su tiempo (artillería, navegación) sino que la forma que revestía su teoría reflejaba la sociedad contemporánea.(11) Se trataba de una opinión que se comprendería mejor y que sería todavía más exacta si se la aplicaba al caso de Darwin, cuya teoría reencontraba en el mundo viviente los mismos fenómenos de competición que predominaban en la sociedad de su época. Tanto Darwin como Wallace han dejado dicho que habían tomado su concepto central de la economía de Malthus. Incluso en el caso de que hubieran exagerado la importancia de Malthus en su pensamiento, parece evidente que el concepto de lucha por la vida en la naturaleza debía imponerse más directamente en ellos que en el caso de que hubiesen vivido en una sociedad feudal y jerarquizada. Así, si las teorías científicas capitales proyectan simplemente sobre la naturaleza los rasgos de la sociedad contemporánea, tales teorías tienen más afinidades con el mito de las que, en general, los científicos estarían dispuestos a aceptar.

Me parece que es preciso operar aquí una distinción fundamental entre las fuentes psicológicas de una teoría y su verificación experimental. Si las ideas de Darwin o de Newton hubieran sido aceptadas por el hecho de ser socialmente seductoras entonces, efectivamente, no sería posible distinguir ciencia y mito; pero yo creo que no se trata de esto, sino que fueron aceptadas porque poseían un gran potencial explicativo y se prestaban a la verificación experimental. Ciertamente puede darse el caso de que algunas ideas científicas nuevas procedan de analogías con la sociedad, igual que puede suceder, por ejemplo en biología, que procedan de analogías con la física o la ingeniería. Sin embargo, lo que importa para el progreso de la ciencia no es el origen de estas ideas, sino la forma como se las utiliza.

La sociedad influye en el desarrollo de la ciencia proponiendo, por una parte, problemas que se consideran «interesantes» y, por la otra, poniendo a disposición de los científicos ciertos recursos para la resolución de sus problemas. De este modo, los científicos, como individuos y también como grupos, hacen aparecer ciertas ideas como dignas de atención y otras como dudosas o estériles. Yo explico así mi propia reticencia frente al método que consiste en aplicar al hombre ideas tomadas del estudio de las sociedades animales (a la inversa del empleo entusiasta que hacen de ellas un E.O. Wilson o un Richard Alexander). Esta desconfianza probablemente se deba al hecho de que mis opiniones políticas o filosóficas se formaron a la sombra de Hitler más que a la de consideraciones concernientes a la biología o a la sociología como tales.

Sin embargo, la concepción «externalista» de la ciencia engendra una visión caricaturesca que yo rechazo formalmente. Es la idea de que es posible evaluar una teoría científica en función de la sociedad en la que ha nacido, o de que pueden deducirse a partir de ella conclusiones morales o políticas. Si se acepta esta visión, entonces la ciencia muere como murió la genética en la Unión Soviética en 1948.

En nuestros días, la idea de que no existen criterios objetivos en los que basarse para elegir entre teorías rivales (y por tanto, por implicación, que pueda darse libre curso a una u otra toma de



El tema de esta obra, a juzgar por su título, es puramente científico: «Cuvier reuniendo los documentos para su obra sobre las osamentas fósiles». Pero el artista, Theobald Chartran, ha dramatizado deliberadamente la escena. Cuvier no es tan sólo un paleontólogo que examina una osamenta, sino también un filósofo que escruta apasionadamente el pasado y nos invita a seguirle en una vasta meditación. Tal como ha señalado el historiador Pascal Ory, Cuvier recuerda aquí a Hamlet, y la indagación científica reviste carácter «sagrado». (Foto M. Fraudreau.)

(9) I. Lakatos en I. Lakatos y A.E. Musgrave (eds.) *Criticism and the growth of knowledge,* Cambridge University Press, 1963 (hay traducción castellana: *La crítica y el desarrollo del conocimiento,* Grijalbo, Barcelona, 1975).
(10) J.D. Bernal *The social function of science,* Londres, Routledge, 1939.
(11) B. Hessen, *Science at the crossroads;* Kreiga, 1931.

Si exigimos a la ciencia mandamientos morales obtendremos una mala moral o una mala ciencia...

partido) entiendo que deriva en buena parte de los trabajos de Thomas Kuhn, aunque esta opinión está bien alejada de la que él mismo deducía.(12) Kuhn considera que la ciencia se divide en períodos «normales» y en períodos «revolucionarios». En el período «normal», los miembros de una comunidad científica se adhieren a los presupuestos juzgados válidos, a los problemas dignos de ser resueltos y a lo que se admitirá como solución, así como al consenso sobre los métodos experimentales que emplear, y más importante todavía, a un «paradigma», es decir, a un conjunto de soluciones ejemplares, que constituyen una norma para el estudio de ciertos problemas. En cambio, en un período «revolucionario» es un conjunto fundamentalmente nuevo de presupuestos y de métodos el que reemplaza al anterior (generalmente tras el fracaso persistente en la resolución de ciertos problemas en el marco heredado).

Todo esto parece corresponder de alguna manera a la realidad (y en cierto modo a esta máxima de Popper: «Mucho más que la acumulación de conocimientos, lo que produce la ciencia es el cambio revolucionario de las teorías científicas»).(13) La dificultad crucial reside en el cuadro que pinta Kuhn con respecto a la situación de un paradigma por otro. Habla de un «debate paradigmático» en el cual los partidos «no toman enteramente en consideración los puntos de vista del contrario» y «ven de forma distinta el mundo». Este análisis, una vez más, contiene una buena parte de verdad. En el transcurso de mi carrera científica he conocido demasiadas discusiones en las cuales disputábamos vanamente, mi contradictor y yo, para que ahora pueda dudar de tal dificultad.

Pero el error (que es mucho menos imputable a Kuhn que a aquellos que lo interpretan) consiste en pensar que si dos científicos no se comprenden plenamente en el transcurso de su discusión no exista medio racional —con la ayuda del tiempo— de terciar entre ambos. Cierto es que a menudo, en un momento dado, no hay ningún medio seguro para elegir entre dos teorías o dos puntos de vista; si fuera de otro modo ¡la ciencia sería una profesión harto aburrida! Pero con el tiempo la elección se ve facilitada ya que uno u otro de los puntos de vista se revela más apto para remontar los obstáculos. La dificultad está en que, con frecuencia, y simplemente para poder trabajar, el sabio debe seguir una vía sin disponer de datos probatorios.(14) De ello resulta una aparente irracionalidad que, vista desde fuera, podría hacer creer que la elección entre teorías científicas es tan arbitraria como lo era optar entre las doctrinas de Arrio y Atanasio.

Hay buenas razones para preferir ciertas teorías

Entonces ¿qué pensar de esta inconmensurabilidad de las teorías científicas postuladas por Kuhn? Es seguramente cierto que, entre grupos distintos de científicos existe con frecuencia incomprensión mutua y, más aún, que con frecuencia ni siquiera se escuchan. No lo es menos, que los científicos adoptan a menudo una teoría que todavía no tiene bases sólidas. Pero de ello no se sigue que no haya buenas razones para escoger algunas teorías, ni que la elección depende, finalmente y de forma única, de la elocuencia de los distintos oponentes. A pesar de que algunos se sitúan totalmente en un campo o en el otro, numerosos científicos son por lo general capaces de comprender el debate en su conjunto y de reconocer la valía de los experimentos de uno y otro lado. Y es frecuente que el veredicto final combine ideas antiguas e ideas nuevas, pero se trata entonces de una síntesis racional, no de un compromiso arbitrario.

Veamos un ejemplo. El debate entre los mendelianos y los biómetras alcanzó un aparatoso nivel de incomprensión mutua. Igualmente demuestra hasta qué punto Pearson estaba todavía impregnado de antiguas ideas filosóficas. Como ha puesto de manifiesto Norton, Pearson había comprendido que la herencia mendeliana podía explicar los fenómenos de variabilidad continua que estudiaba, pero no aceptaba a los genes porque en su opinión no era necesario admitir la existencia de entidades hipotéticas.(15) Sin embargo, en la actualidad nadie discute ni la utilidad de los métodos estadísticos de Pearson ni la genética de Mendel.

Si las teorías fueran verdaderamente inconmensurables e imposible toda elección racional entre ellas, no existiría progreso de las ciencias. El mismo Kuhn admite la realidad del progreso científico pero únicamente en el sentido de que ha aumentado la capacidad explicativa de las teorías; duda que razonablemente pueda decirse que la ciencia se haya aproximado a la verdad de lo que «existe realmente». Volveremos pronto sobre este punto.

Quisiera añadir aún algo sobre las ideas, ciertamente penetrantes, de Kuhn: su exigencia de una distinción entre ciencia normal y ciencia revolucionaria y su afirmación de la inconmensurabilidad de los paradigmas no dejan de ser exageradas. Durante mi vida profesional la mayor revolución científica ha sido la ascensión de la biología molecular. Dicha disciplina posee todos los elementos de una nueva matriz disciplinaria en el sentido de Kuhn: hombres nuevos, problemas nuevos, nuevos métodos experimentales, revistas y manuales nuevos, nuevas «vedettes» de la ciencia. Pero ¿dónde estaba la inconmensurabilidad? Yo mismo soy un producto de la antigua disciplina, y tampoco he diseñado los métodos experimentales de la nueva. Y, no obstante, mi reacción inmediata frente al artículo de Watson y Crick fue pensar que un misterio de la genética clásica acababa de ser resuelto. Creo que ésta fue, más o menos, la reacción general. Los que habían sido formados en la genética clásica se veían obligados a esforzarse, a veces, por aprender las nuevas técnicas, pero no se presentaban dificultades conceptuales y tampoco «debate paradigmático» alguno.

El nacimiento de la biología molecular quizá no fuera una revolución en el sentido kuhniano. De hecho, yo me inclino por creer que antes de hacer grandes progresos en la biología del desarrollo será precisa una revolución conceptual más vasta que la que presidió la transición de la genética mendeliana a la genética molecular. Pero, si la biología molecular ha podido nacer sin un verdadero debate paradigmático ¿qué queda entonces de los conceptos de ciencia normal y de ciencia revolucionaria?

La historia de la genética nos fuerza, por tanto, a reconsiderar la tesis de Kuhn según la cual el progreso científico es un progreso en la explicación, pero no en el conocimiento de lo que es verdaderamente el mundo. Por mi parte, creo que ha habido un verdadero progreso en nuestro conocimiento del mundo en el momento en el que hemos pasado del concepto de gen como factor mendeliano a gen como fragmento de un cromosoma en tanto que molécula de ADN. No obstante, quizá debería dejar esta cuestión para los filósofos.

Tampoco habría polemizado tan largamente acerca de la diferencia existente entre teoría científica y mito si ésta fuera evidente. Pero, de hecho, ambos presentan muchos puntos en común. Son construcciones del espíritu humano, paralelamente destinadas a revestir una significación que sobrepasa con mucho las afirmaciones directas que contienen. Popper propone la refutabilidad como criterio para distinguir entre ciencia y mito. Sin embargo, a menudo podemos igualmente distinguirlas por su función; así, cabe a la teoría científica la de explicar la experiencia, aunque, como sucede con frecuencia, se trate de una experiencia esotérica emergente de una experimentación deliberada; la función del mito es, por el

(12) T.S. Kuhn *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, 1962 (hay traducción castellana: *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, 1971).
(13) Karl R. Popper, ib. pp. 129.
(14) Esta necesidad parece más psicológica que lógica. Así, la mayoría de los genetistas de poblaciones estiman necesario adoptar con respecto a la evolución molecular una actitud seleccionista o una actitud neutralista; algunos juzgan posible estudiar los resultados con miras a confirmar una u otra, sin adherirse a ninguna de las dos.

Para obtener alguna luz acerca de la historia geológica y biólogica de nuestro planeta recurrimos a la ciencia. Pero, durante siglos y siglos, los hombres se han dirigido a las religiones para comprender el origen del univero y para definir su propia situación. El mito del Diluvio era tomado hasta hace poco al pie de la letra en numerosas sociedades. Más de una vez, los cientificos han debido luchar con tenacidad para hacer aceptar sus propias explicaciones. (El Arca de Noé imaginería musulmana. Foto J.L. Charmet.)

contrario, la de proporcionar el origen y la justificación de ciertos valores. ¿Cuál debería ser su relación?

Tres posiciones posibles

Cabe sostener tres posturas. La primera, expresa a menudo como exigencia de una «ciencia normativa», es la idea de que las mismas construcciones mentales deberían presidir el mito y la teoría científica. Esta idea está muy extendida. No creo equivocarme al decir que esta interpretación subyace a las críticas planteadas al darwinismo por los homosexuales, las feministas, los socialistas y tantos otros. Explica igualmente, tratándose de la cosmología, la preferencia manifiesta por ciertos eclesiásticos por la teoría del «Big Bang» frente a la teoría del estado de equilibrio. Este error no es exclusivo de los críticos de Darwin; en él han incurrido también Julian Huxley en *Evolution and ethics* y por E.O. Wilson en su *Naturaleza humana;* y a pesar de las buenas intenciones que la informan, me parece pernicioso en sus efectos. Si aceptamos que las teorías científicas vehiculan mensajes morales, el resultado será una mala moral o una mala ciencia o, muy probablemente, una mala moral y una mala ciencia al mismo tiempo.

Se trata de un peligro manifiesto en biología evolucionista. El darwinismo es una descripción del origen del hombre. En todas las civilizaciones anteriores las descripciones de su origen eran míticas; por tanto, puede esperarse que el darwinismo sea tratado como un mito. Si se admite la descripción de Darwin, es fácil identificar «natural» con «vencedor en la lucha por la vida», pero si se contempla esta descripción como un mito es igualmente fácil establecer la equivalencia entre «natural» y «bien». De lo cual resulta que, adhiriéndose al darwinismo, bien los homosexuales son «contra natura», los servicios sociales irrealistas y la caridad perversa bien, se repudian por exceso dichas conclusiones, adhiriéndose al lamarckismo, sin querer saber si ha sido o no confirmado por los datos de la genética. La primera elección desemboca en una moral mezquina; la segunda, en una ciencia que no lo es menos. Se trata de un dilema del que no pueden escapar quienes se obstinan en tratar las teorías científicas como mitos. Por difícil que pueda ser convencernos, y convencer a los demás, de que «natural» *no equivale* a «bueno», es un esfuerzo que hay que intentar.

La segunda postura consiste en sostener que deberíamos prescindir de los mitos y limitarnos a las teorías científicas. Es lo que yo pensaba cuando tenía veinte años; sin embargo, es realmente insuficiente. Si, como yo creo, las teorías científicas no tienen nada que decir respecto de lo que es bueno, sino únicamente acerca de lo que es posible, entonces nos es necesaria otra fuente de valores: y esta fuente debe ser el mito, en el sentido más amplio de la palabra.

La tercera postura, que yo considero la única razonable, es que mitos y teorías científicas no son necesarios por igual, pero que debemos hacer entre ambos una distinción tan clara como sea posible. Se trata, en definitiva, de la idea sobre la que insiste Monod en *El azar y la necesidad,*[16] afirmando que, en ciencia, no hay lugar para las hipótesis teleológicas o portadoras de valores. Con todo, para hacer ciencia debe uno de entrada adherirse a ciertos valores, en especial debe creerse en la búsqueda de la verdad. No pudiendo tener esta elección su origen en la ciencia, es preciso reconocerle una vinculación moral previa, necesaria para que la ciencia sea posible. Por tanto, lejos de estimar que los valores se desprenden de la ciencia, Monod considera que la ciencia depende de los valores. Resulta extraño que, casi universalmente, sus críticos le hayan reprochado que pretendiera hacer derivar valores de la ciencia, cuando lo que él sostenía era precisamente todo lo contrario. Es posible, no obstante, que el propio Monod tuviera alguna responsabilidad en dicho malentendido, en la medida en que proseguía su demostración diciendo que la biología molecular daba cierto crédito al socialismo, justamente el mismo tipo de argumento que él había proscrito. Lo que yo quisiera retener de su tesis, no obstante, es —de entrada— que los valores no tienen su origen en la ciencia, pero que son necesarios para su práctica; y, en segundo lugar, que es preciso distinguir lo más claramente posible entre ciencia y mito. ■

(15) B. Norton «Metaphysics and population genetics: Karl Pearson and the background to Fisher's multi-factorial theory of inheritance», *Annals of Science, 32,* 537-553. 1975.
(16) Jacques Monod, *Le hasard et la nécessite,* Seuil, 1970 (hay traducción castellana: *El azar y la necesidad,* Barral, Barcelona, 1971).

«El darwinismo no se desarrolla sino a partir de postulados filosóficos concernientes a la posición del hombre en el Universo.»

Entre el mito y la ciencia, la moral

por Paul Valadier

■ No hay nada más funesto que concebir las relaciones entre mito y ciencia en el marco de una oposición radical; pero comoquiera que no hay nada más confortable para la pereza intelectual, no hay por qué asombrarse de que esta manera de ver las cosas sea común en las polémicas sobre dichas relaciones. Ciertamente, y como siempre sucede, la oposición entre mito y ciencia parece tan irreductible en razón del parentesco existente entre ambos. Mito y ciencia parecen enemigos irreconciliables puesto que la misión de ambos es la de decir las mismas cosas, pero de distinta forma. Ambos proporcionan, según parece, vastas explicaciones globalizadoras gracias a las cuales toda cosa, y en particular el hombre, encuentra su lugar, y consiguientemente su sentido. Ambos parecen basarse en la realidad. Sin embargo, esta aproximación de tipo racionalista que sitúa mito y ciencia en continuidad sobre el plano del conocimiento es propiamente mortal para el mito: la eficacia operatoria de las ciencias y de las técnicas muestra que, incluso para el espíritu menos abierto para los procedimientos científicos, la explicación científica del mundo tiene un valor probatorio, por los resultados que obtiene y por los resultados perceptibles y tangibles en la vida cotidiana. Mientras que por su parte el mito, con sus grandes discursos, su lenguaje esotérico, sus fuentes y su irrisoria eficacia...

Una oposición simplista que conviene superar

En realidad, esta oposición simplista no resiste el examen a partir del momento en que se percibe que el racionalismo en el que se basa es ciego sobre sí mismo y sobre sus presupuestos. El racionalismo, como se sabe, cree que arroja sobre todo objeto una luz decisiva, aunque raramente se sobrepasa a sí mismo y a la ceguera que le embarga... Por lo que respecta concretamente al problema de la relación entre ciencia y mito, el racionalismo no quiere ver que «la» ciencia no existe en cuanto tal. En realidad nos encontramos bien frente a ciencias dispersas obedeciendo cada una a sus racionalidades específicas, válidas en campos circunscritos de lo real, bien frente a teorías científicas con pretensiones globalizadoras. La reunión forzada y arbitraria de las distintas ciencias dispersas bajo la etiqueta única de la «la» ciencia constituye precisamente nuestro gran mito moderno, ya que esta amalgama elevada al rango de unidad («la» ciencia) está investida de todas las características que normalmente definen al mito. Pero este gran mito no tiene ni más ni menos valor que cualquier otro, por lo menos en tanto no se tome frente a él ninguna distancia crítica, en tanto no se cuestione su supuesta eficacia... Ciertamente este gran mito posee una fuerza colectiva evidente, como todos los mitos: desde hace siglos ha venido despertando las voluntades de conocer, fundiéndolas en una gigantesca empresa de explicación, por parte del hombre, del mundo, y efectivamente ha ayudado en la transformación de las estructuras sociales, haciendo mella en los grandes sistemas religiosos de explicación del mundo. Pero este gran mito sólo ha aplicado su poderosa fuerza conquistadora al fin de no ser discutido y sólo ha empezado a perder parte de la misma en el momento en que, como decía Nietzsche en *La gaya ciencia,* empezamos a descubrir que habíamos derramado demasiada sangre y sacrificado demasiados valores en semejante altar...

De esta forma «la ciencia» desprovista del halo que le daba su carácter de gran mito moderno y restituida a sí misma aparece en su diversidad contrastada y contradictoria. El punto de vista del biólogo no es el mismo que el del sociólogo. El propio sociólogo sabe bien que puede y debe tener diversos puntos de vista, para, en palabras de Nietzsche, poder adoptar varios enfoques metodológicos sobre su objeto de estudio. Lo que en el campo de la ciencia más se acercará entonces a la mayoría de los mitos serán las grandes *teorías científicas,* el darwinismo entre ellas, evidentemente. Pero con independencia de que la proposición de tales teorías se hace más y más difícil y, por consiguiente, más y más rara, está claro que estas teorías van mucho más allá, por su carácter sistemático y global, de lo que las afirmaciones fundadas en la ciencia permiten afirmar. De este modo el darwinismo no se desarrolla más que sobre inmensas «lagunas» del conocimiento, y a partir de postulados filosóficos concernientes a la posición del hombre en el universo o a la posibilidad de ordenar las especies vivientes, que no pueden favorecerse de la ciencia...

La oposición simplista entre mito y ciencia se alimenta del prejuicio racionalista que sitúa mito y ciencia como dos modos de conocimiento en continuidad, uno de ellos imperfecto, aproximativo, verbal, intuitivo, ineficaz (el mito), y el otro (la ciencia), operativo, verificable, claro en sí mismo y liberador de la humanidad. A veces el error de enfoque reside en proyectar sobre el mito una imagen racionalista que no tiene la pretensión de dar. El autor de las primeras páginas del libro del *Génesis* no tenía ninguna intención de explicar los procedimientos de la creación del mundo y del hombre, ni da tan sólo las premisas de una teoría evolucionista del universo. En rigor puede decirse que no es su problema. Su objetivo es más bien el de demostrar que el mundo no es un caos sin principio ni fin, y hacer comprender que la armonía que reina en él y que estructura toda la realidad, porque emplaza y relaciona todo lo demás, es la condición de dar gloria a Dios el séptimo día; o, todavía, que la entrada en tal propósito no es posible sino cuando el hombre descubre la ley de Dios como buena, beatificante y dadora de vida. Su fin es el de ayudar al hombre a abrirse al descubrimiento (difícil, a ciegas) de Dios. El racionalista que sonríe al ver que, en el relato del *Génesis,* la luz aparece antes que el Sol, muestra simplemente su ininteligencia, por no decir su miopía. Literalmente, en efecto, no comprende el significado del mito porque espera todo lo contrario de lo que intenta ofrecer el mito.

El mito guarda relación con la moral

En una palabra, el origen del conflicto entre el mito y la ciencia proviene de que ambas son medidas con el criterio del conocimiento explicativo de lo real. En otros términos, este criterio de conocimiento remite por sí mismo a una voluntad de conocer, es decir a una valoración del conocimiento como deseable, como valioso y, por tanto, como moralmente bueno. Una voluntad tal de tomar posesión de las cosas por el acto de conocer es en general extraña al mito. La voluntad que lo informa, ya que también existe la que preside el desarrollo mítico, es más bien la de ayudar al hombre a darse prisa, a abrirse a una percepción del mundo de tal naturaleza que el misterio oculto de las cosas se le manifieste. He ahí por qué el mito siempre exige, más o menos, una actitud activa por parte del receptor, y con

Esta miniatura de finales del siglo XVII representa a Siva, una de las tres divinidades bramánicas principales, en trance de engendrar el Ganges. Frente a los mitos de este tipo, los espíritus impuestos de rigor científico experimentan una viva indignación. En la medida en que las explicaciones míticas pretenden desvelar la realidad objetiva, esta reacción es comprensible. Sin embargo, parece que existe un amplio consenso al respecto: el objetivo del pensamiento mítico no es el de describir realísticamente los fenómenos sino desvelar su «significación» en el cuadro de una particular visión del mundo. Dicho de otra forma, el mito tiene esencialmente un carácter metafísico y ético. (Colección particular, Foto J.L. Charmet.)

rigor, su conversión, su desplazamiento, una transformación de su mirada y de su comportamiento. Ahí, lo que *el mito tiene que ver con la moral...*

La voluntad de conocer está presente, evidentemente, en las ciencias, pero más de la parte de su principio que como efecto. Además, esta voluntad implica una relación de apropiación de la naturaleza. Cuando, al comienzo del *Leviathan,* Hobbes explica que para fundar al fin una ciencia política que asegure la paz y la concordia entre los hombres es preciso considerar la naturaleza misma como un arte, desvela con bastante claridad el postulado de toda ciencia en su relación con lo real: no ya abrirse a la naturaleza como a un camino hacia el misterio, sino considerarla como una fabricación, una máquina articulada de la que es posible reparar y regular el funcionamiento. Por tanto, no estará fuera de lugar decir que si el mito engendra una cierta actitud moral, como su consecuencia, en el caso de la ciencia es más bien la moral, o por lo menos una cierta voluntad moral, la originaria. No han de faltar ciertamente impugnaciones a esta afirmación, ya que es bien cierto que el prejuicio racionalista es tenaz en no aceptar el destronamiento de su preeminencia y sentirse relativizado... Y, sin embargo ¿qué sería de la ciencia sin la voluntad, sin el deseo de conocer, y por tanto, sin la apreciación de que situar la especie humana en la serie de las especies vivientes es un bien, sin la idea de que intentar esclarecer los síntomas neuróticos de este paciente es un bien, de que escrutar la composición de los cromosomas es un bien...?

Y, en consecuencia, es igualmente cierto que donde se debilita esta voluntad de conocer, donde es cuestionada por laxitud o por convicción (por ejemplo a partir de una crítica concerniente a los peligros de la empresa científica), el esfuerzo de investigación se detiene. En este sentido, y paradójicamente, puede decirse que la ciencia, para vivir, tiene necesidad del mito. Lejos de ser ella la que destruye el mito y lo critica, es preciso decir que la voluntad de ciencia debe alimentarse tácitamente del mito, ya que tal voluntad tiene necesidad de creer que es bueno conocer, más bueno que no conocer, que es mejor errar que no equivocarse, que es mejor manipular las cosas que contemplarlas o admirarlas... Y Nietzsche, mucho antes que otros, presintió genialmente que a partir del momento en que la voluntad de conocer —o como él decía, la voluntad de verdad a cualquier precio— que preside el desarrollo científico, dude de sí misma, un interrogante quizá mortal, sacudirá las ciencias: ¿Vale la pena situar por encima de todo, y a cualquier precio, la voluntad de conocer? ¿Puede ser la ciencia el valor indiscutible? Pero en este caso ¿no es preciso cuestionar esta moral, censurada, despreciada por el racionalista, que nos hace desear la ciencia como buena?

Mito y ciencia están en relación con una voluntad y quien dice voluntad, dice efectivamente moral; no se trata aquí de desarrollar todo el problema de la relación entre las ciencias y la moral, lo que nos alejaría de nuestro propósito inicial. Pero como sea que nuestra reflexión ha hecho emerger un origen oculto en el principio de la voluntad científica, y como sea que constatamos también que el mito implica un comportamiento, podemos avanzar otro paso. Sí, contra la miopía racionalista es preciso proceder hasta desvelar el deseo de tipo moral que nos hace querer el conocimiento científico y desarrollar la adecuación técnica del mundo; sí, es preciso avanzar hasta reconocer que el desarrollo de las ciencias sería propiamente ininteligible sin la voluntad moral de conocer; sí, es preciso reconocer que la ciencia depende de una instancia, sobre la que no gobierna, y de una matriz mítica o simbólica, de donde toma sus energías y su impulso.

¿Hay razones para pensar que existe una ciencia proletaria y una ciencia burguesa?

La verdadera moral queda más allá del mito y de la ciencia

Pero la moral propiamente dicha, es todavía otra cosa. Es distinta al mito, incluso en el caso de que el mito vivido por el fiel implique un comportamiento y le indica el camino para estar en armonía con el Principio del mundo. Es otra cosa distinta también del conocimiento científico y de la eficacia operativa, ya que la moral propiamente dicha se presenta como una elección específica (cuyo planteamiento se puede, efectivamente, rehusar). Hay moral, voluntad moral, desde el momento en que uno enfrenta la cuestión de saber si la decisión por tomar puede ser considerada como verdaderamente buena, realmente humana y humanizadora, para uno y para el prójimo: ¿está bien, para mí y/o para el prójimo hacer lo que voy a hacer? El mito puede ayudarme a situar mi decisión y mi lugar en el mundo, pero no me dispensa de la decisión ni de la responsabilidad que ella implica. Las ciencias pueden y deben iluminar la decisión: hacer aparecer el fundamento o los riesgos de la decisión (en materia económica por relación a los costes de producción, a las vicisitudes de la comercialización en función del estado del mercado; en materia médica, por relación al estado físico o psicológico del enfermo), mostrando las diversas posibilidades que se plantean en este caso preciso y en este contexto. Pero aquí todavía —a menos que se sigan sin discutirlas las prescripciones de la técnica— la decisión moral sigue siendo otra cosa que este ambiente racional necesario. Queda todavía esta pregunta, si por lo menos se desea plantearla: ¿es bueno, puesto que razonable, que decida de esta forma?

Así se nos presenta la moral entre el mito y la ciencia. Antes de su elaboración, como voluntad de relacionarse con el mundo; después, como voluntad de dar sentido, y sentido humano, al mundo. Estas tres realidades no son conflictivas: son como otras tantas instancias a partir de las cuales y en las cuales el hombre descubre poco a poco que la vida vale la pena de ser vivida porque puede encontrar en ellas los recursos para darle sentido. ■

Ideología y verdad

por Evry Schatzman

■ Detrás de esta cuestión se encuentra el problema psicológico del funcionamiento intelectual del científico, siendo éste, naturalmente, una especie de personaje ideal que reúne en sí mismo todas las características de la clase. La dificultad para construir este personaje radica en el hecho de que los científicos se explican, por lo general, muy poco acerca de su propia forma de conducir sus reflexiones, o de las influencias sociales y culturales que han recibido, así como sobre la forma en que tales influencias han determinado el curso de sus pensamientos.

Cualquier discurso de un científico sobre dicho tema, cualesquiera que sean los puntos de apoyo que él busca en los discursos de los demás o en los discursos acerca de la ciencia por parte de quienes comentan los discursos científicos es, en definitiva, una especie de autoanálisis. En este terreno todo o casi todo es opinable. En el mejor de los casos, todo lo que puede hacerse es, de una parte, señalar un determinado número de puntos que la experiencia de los últimos veinte o treinta años han puesto de manifiesto y, de la otra, ser —con respecto a uno mismo— tan perfectamente verdadero y sincero como sea posible.

El primer punto consiste en elaborar una teoría científica particular en razón de las conclusiones a que conduce a nivel humano. El ejemplo de la sociobiología es bueno y quizá sea el ejemplo tipo de una teoría científica que puede sospecharse que ha sido concebida precisamente porque puede deducirse de la misma un cierto modelo de funcionamiento de las sociedades humanas, ya que permite extraer algunas conclusiones de naturaleza política. Igualmente sería posible presentar otros ejemplos procedentes de la física, donde uno de los más ilustres es el de las teorías cosmológicas.

Alrededor del problema del universo en expansión han tenido lugar debates que no tenían nada de científico. El principio cosmológico perfecto de Hoyle, Bondi y Gold y la hipótesis de la creación continua que de él se derivaba obedecía a un fin: eludir el instante inicial de la expansión. En 1951, en un discurso célebre, el Papa Pío XII declaraba ver en la expansión del universo la prueba del *fiat lux* original y, algunos años antes, Milne había consagrado todo un libro a la prueba de la existencia de Dios por la expansión del universo.

El descubrimiento de la radiación cosmológica de fondo celeste en 1965 ha vuelto a poner de actualidad la teoría del «Big Bang», y ello por motivos que no son ni ideológicos ni religiosos. Es bueno recordar que las tentativas de construir teorías cosmológicas que eviten tener que admitir la expansión del universo se encuentran con dificultades que no han sido remontadas.

El segundo punto es aquél con el que nos encontramos en Francia en 1948-1953 con ocasión del debate entre «ciencia proletaria-ciencia burguesa» a consecuencia del caso Lyssenko. La *confusión* entre las condiciones del trabajo científico, la organización de las instituciones y el sistema de decisión, por un lado, y los resultados de tal trabajo científico, por el otro, y la *confusión* entre los orígenes culturales, ideológicos, filosóficos, sociales... incluso religiosos de las ideas científicas, y estas ideas en concreto, permitieron hacer la *amalgama* y llegar a la afirmación de la existencia de dos ciencias.

Curiosamente, este tema de las dos ciencias debido a Bogdanov, condenado por Lenin, resucitado por Stalin, ha pugnado constantemente desde entonces por emerger y después de 1968 ha encontrado cierto eco en Francia, en algunos medios por lo demás perfectamente antiestalinianos y anticomunistas. Se pueden encontrar ejemplos de lo que digo en el periódico *Survivre et vivre,* en la revista *Impa-Science* y, de forma más accesible, en los textos recogidos por A. Jaubert y J.M. Levi-Leblond en *(Auto critique de la science)* (véase en particular la página 47).[1]

Ciencia e imaginación

Dicho esto podemos ahora prestar atención a lo que llamaré lo imaginario. El científico imagina, sueña, y en su fantasía asocia los fenómenos, los recuerdos y todo lo que proviene de su cultura. Esta fase, en la cual la libertad de asociación me parece la clave de la actividad científica, no se parece en nada a lo que los filósofos han descrito laboriosamente y por medio de ejemplos particularmente inapropiados como inducción (tema sobre el cual volveremos a tratar más adelante). Esta actividad produce una especie de poesía que tiene sus raíces tanto en lo real como en el mito y que está muy influenciada por lo afectivo. En esta fase de la actividad

(1) Este trabajo fue reeditado, en forma abreviada, en la colección Point-Sciences (Seuil).

Restrospectivamente es tentador considerar a los alquimistas como los precursores de la ciencia moderna. Sin embargo, en sus presupuestos, la alquimia no intentaba tan sólo conferir a los hombres el gobierno de la naturaleza, sino que se fundaba sobre toda una filosofía y tenía en cuenta la situación moral y espiritual de la humanidad. Brevemente, al tiempo que «ciencia» era también un «mito»; es por esta doble naturaleza que todavía hoy seduce a ciertos espíritus. (Grabado del siglo XIX. Biblioteca de la antigua Facultad de Medicina de París. Foto J.L. Charmet.)

desempeña un gran papel lo que se estima y lo que no se estima; y, tal como me hacía observar recientemente Michelle Schatzman, en ese momento no está claro si yo no estimo porque no me parece justo o no lo hago porque es una idea de Pedro o de Pablo (¡a quienes detesto!).

Sin embargo, llega un momento en que esta construcción poética debe ser confrontada con la realidad. En esta fase interviene el rigor, el modelo debe dar cuenta de los hechos, de todos los hechos, y en definitiva sólo subsiste la única representación válida, justa y verdadera. Este estado de perfección no se alcanza a veces porque los científicos no son portadores más que de teorías contradictorias. Yo creo que en estos casos la imposibilidad de llegar a una conclusión se debe a no disponer de datos correctos y en número suficiente o simplemente pertinentes.

Dos criterios me parecen esenciales al respecto. El primero es el carácter operativo de la representación que se hace (a la que se puede llamar también teoría o modelo), por ejemplo, la posibilidad de realizar un experimento, simplemente imposible de concebir en ausencia de dicha representación. ¿Cómo extraer una muestra monocinética de un gas neutro sin dominar la teoría molecular?

El segundo criterio es el de la previsión. La física nos revela algunos ejemplos de propiedades previstas por teorías nuevas y verificadas por la observación o el experimento. Los más célebres son el descubrimiento de Neptuno (1846), la equivalencia entre la masa y la energía (1905), la deflexión de los rayos luminosos por el Sol (1919), las propiedades ondulatorias del electrón (1927), y la existencia del electrón positivo (1932), por limitarnos a los descubrimientos que han hecho historia.

La teoría como representación verdadera de la realidad

Nadie ha dicho jamás que el triunfo de una teoría (representación, modelo) fuera definitivo. Pero, en el cuadro de lo que es posible conocer y medir y en el marco de que la teoría (modelo) es una representación *verdadera* de la realidad me parece muy difícil escapar a aquella primera idea. A este respecto el discurso de Popper me parece ininteligible; y desearía señalar tres aspectos: 1) una de las motivaciones de las investigaciones metodológicas de Popper es la de refutar el principio de inducción. Yo no creo que ningún científico haya razonado nunca realmente por inducción: el sistema de asociaciones libres no constituye un razonamiento; 2) en su libro sobre la lógica del descubrimiento científico coloca en primer plano la refutación de una teoría por otra teoría, y en cuarto lugar la refutación por la experiencia (p. 29);[2] 3) la función de la previsión de un efecto nuevo no ha de tomarse como prueba de la validez de una representación (por ejemplo, pp. 107-108). Se puede uno preguntar leyendo a Popper ¡dónde tienen la cabeza los miembros de la Real Academia de Ciencias de Suecia cuando otorgan los premios Nobel de física!

Volvamos finalmente a la función de los mitos. Pensemos en la función del mensaje que tal o cual científico propone desde su actividad o el mensaje proveniente del mito y que influencia al científico en su terreno. Quizá sea aquí donde sea más importante hacer la distinción entre lo que los sociólogos llaman las «ciencias duras» y las demás. En el dominio de las ciencias de la naturaleza sería absurdo negar la influencia de las concepciones reinantes acerca de la utilización del conocimiento científico, la importancia de las aplicaciones, la función benéfica o maléfica del descubrimiento científico. Pero una cosa es admitir esta influencia y otra descubrir exactamente de qué forma se produce. Es poco probable que exista alguna investigación guiada únicamente por el deseo de profundizar nuestro conocimiento, de alcanzar la verdad, elucidando por ejemplo, el conflicto entre la representación (el modelo, la teoría) y la experiencia (la observación,

Algunos descubrimientos científicos, por su significación, estimulan particularmente la imaginación. En este sentido es notable el caso de la doble hélice del ADN. Esta estructura, fácil de representar y de memorizar, explica fenómenos biológicos fundamentales; contemplar la doble hélice es ganar acceso, en fin, al «secreto de la vida». No hay que sorprenderse, pues, si la imagen del ADN goza de gran popularidad y acaba por «funcionar» culturalmente como una especie de mito. (Foto J.-L. Charmet.)

(2) K. Popper, *Logique de la découverte scientifique*, Payot, 1973 (el original es de 1934).

La ética de la investigación es la búsqueda de la verdad y el deber moral del científico es la de reconocer sus errores.

Por razones prácticas, así como culturales, el conocimiento científico goza de un estatuto particular en las sociedades modernas. No solamente las ciencias son enseñadas y divulgadas, sino que su prestigio es reforzado merced a ceremonias rituales, ocasionalmente muy espectaculares. Esta ilustración recoge el momento en que el rey Carlos Gustavo de Suecia entrega el Premio Nobel de Química a Geoffrey Wilkinson, en 1973. (Foto Keystone.)

la medida). En efecto, no hay ámbito alguno en el que no aparezca en un momento dado este conflicto entre representación y experiencia; pero la función de las concepciones morales, de las escalas sociales de valores que clasifican los diferentes campos de investigación y, en el interior de cada uno de ellos, privilegia ciertas orientaciones, ciertas formas de expresarse, no son fáciles de poner de manifiesto. Toda afirmación al respecto que no se base en un trabajo profundo, una investigación (¿blanda?) sobre la investigación (¿dura?) puede ser recusada de entrada como simplista y reflejo de una ideología preexistente y de ideas preconcebidas. El reconocimiento *a priori* de tales influencias no significa, naturalmente, que los resultados obtenidos no sean operativas y no permitan, en un campo limitado de eficacia, alcanzar una representación *verdadera* de la realidad.

La ética de la investigación

Quizá sea posible añadir aquí un comentario acerca de la ética de la investigación científica, tan grata para Monod. Hay en la actualidad un número impresionante de descripciones apócrifas, de falsificaciones (obra de falsarios, véase *La Recherche* n.° 113, pp 858, julio-agosto 1980), en particular en el terreno de la biología y de la genética. Las reacciones del medio científico con respecto a tales falsarios son particularmente significativas. La ética de la investigación es, sin ninguna duda, la búsqueda de la verdad, con el complemento natural del derecho al error, acompañado del deber moral para el científico de reconocer sus errores. La obligación de virtud no es ciertamente en sí misma una necesidad surgida del conocimiento científico. Después de todo, la publicación de lo falso por ingenuidad o por adscripción puede formar parte de la historia de las ciencias, pero no enriquece nuestros conocimientos. Lo que es falso no tiene carácter operativo y desaparece más o menos rápidamente. Lo inquietante al respecto, sin embargo, es la existencia de resultados no reproducibles porque el experimento que los ha dado es demasiado costoso en medios, en material, en personas. Incluso si el autor o el interventor del experimento tienen una reputación de honestidad ¿quién puede decirnos frente a un resultado importante, pero obtenido difícilmente, que no se ha faltado por ingenuidad o por intención a este código deontológico de la investigación?

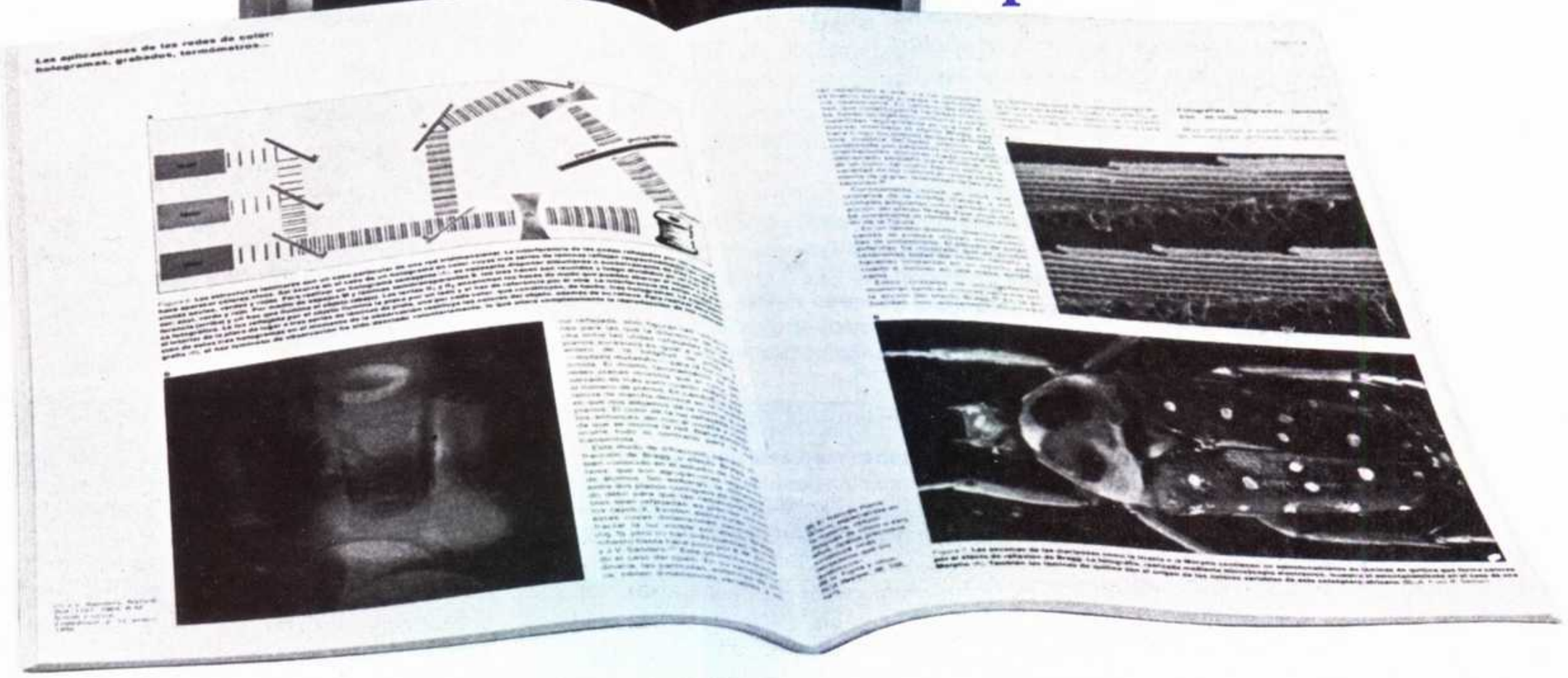
El falsario puede pagar muy cara su falsificación en el plano personal, a nivel de su situación y de su carrera... pero no siempre (¡véase el caso Burt!).

Estamos ahora lejos de los mitos y de la ideología, pero la digresión me ha parecido necesaria. La búsqueda de la verdad no se hace en el seno de una sociedad ideal, sino en el de una sociedad real. La ambición, cualidad indispensable en la búsqueda de la verdad científica, puede degenerar. Después de todo ¿Es posible escapar a una situación en la que la elaboración de las teorías científicas se hace en vista de la constitución de una teoría política? ¿es posible escapar a una situación en la que se manifiesta, a imagen de la sociedad que nos rodea, la necesidad de éxito, de celebridad, de influencia, de poder?

Estamos inmersos en los mitos, ideológicos, sociales, culturales. No podemos vivir ajenos a su influencia y sin producirlos. El estudio de su interacción con la vida científica constituye en sí mismo una investigación larga, difícil y laboriosa. Recordaré, a modo de conclusión, que sería deshonesto confundir la vida social del científico con lo que, en su obra, es el destello que todo lo ilumina: haber percibido un momento de verdad, haber aprehendido un fragmento de la realidad del mundo que nos circunda. ■

La revista interdisciplinaria de ámbito internacional.

Un útil indispensable para la formación permanente.



Por unos contenidos actuales.

Una ayuda importante para los profesores en su trabajo de preparación de las clases teóricas y prácticas.

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE. *versión en castellano* **EDITORIAL FONTALBA, S.A. Valencia, 359 - Barcelona-9 (España)**

La información es almacenada en forma de microdeformaciones en la superficie del disco.

El videodisco numérico*

■ Cada una de las familias de equipamientos necesarios para la burótica: terminales, redes de comunicaciones, sistemas de archivo, es actualmente centro de una encarnizada competición tecnológica. Los equipos de almacenamiento en memoria de documentación, que por el momento se basan indefectiblemente en sistemas magnéticos (las memorias de discos de los ordenadores clásicos), van a sufrir una revolución si los discos ópticos numéricos que salen actualmente de los laboratorios ofrecen realmente las prestaciones técnicas y económicas indicadas por los fabricantes.

Desde que la informática existe se

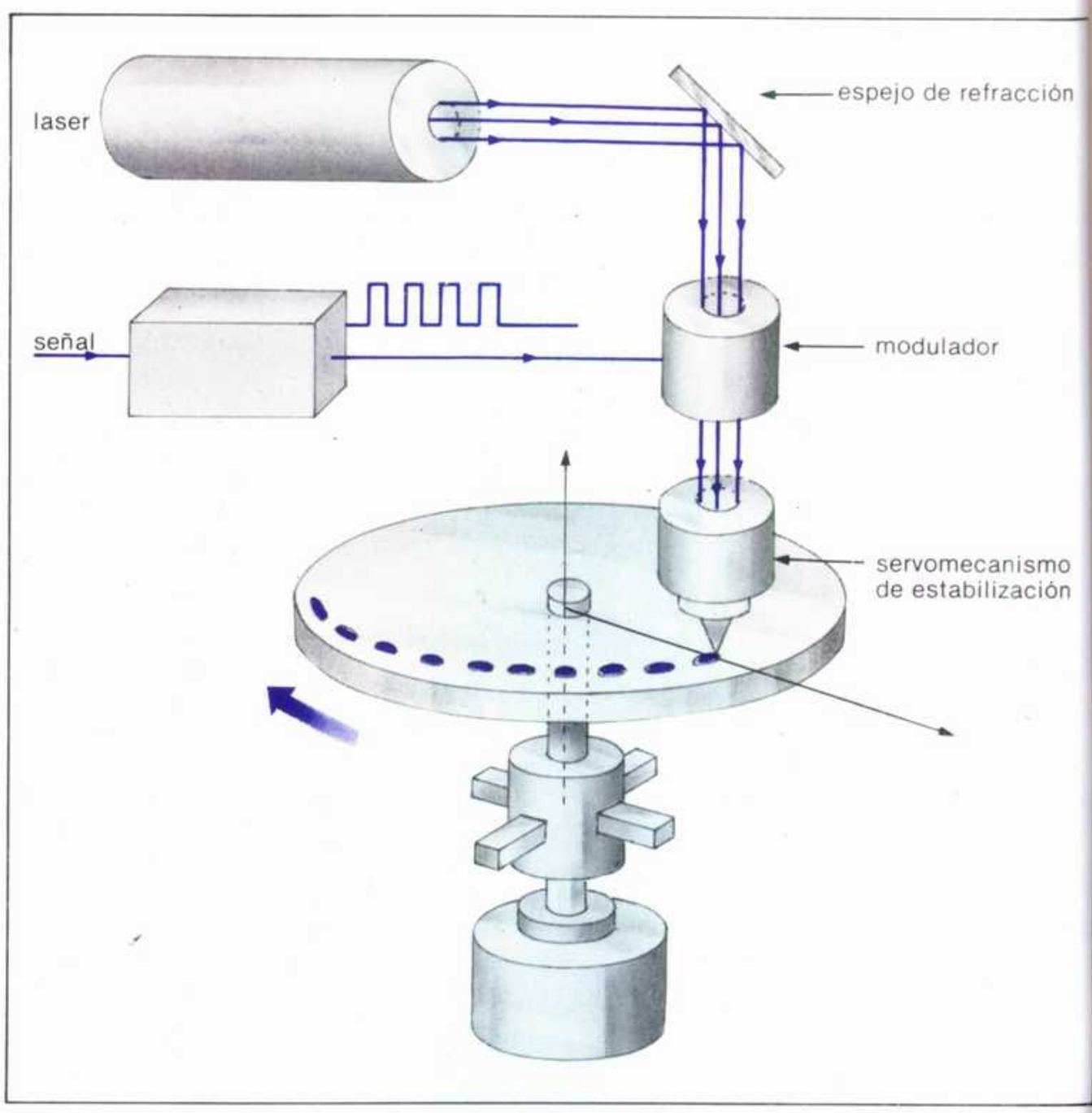
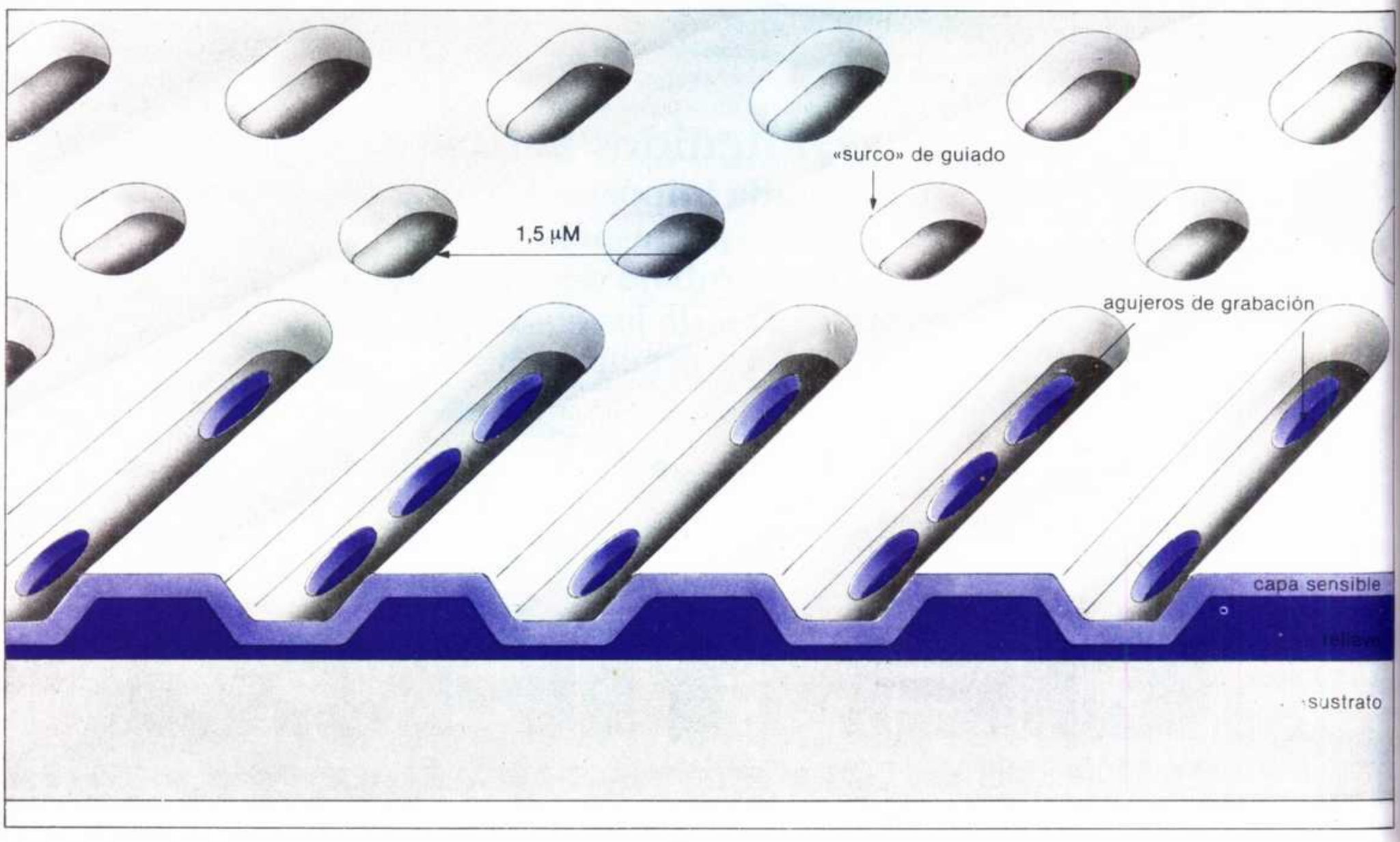


Figura 1. **Los discos ópticos numéricos se graban mediante un equipo relativamente ligero situado en casa del usuario. Un laser, cuya energia es modulada por las señales binarias de la información por almacenar, produce agujeros o abultamientos de una micra de diámetro sobre la película de plástico termosensible del disco** (A). **Del equipo completo de un aparato de disco óptico numérico, aqui sólo se ha esquematizado el dispositivo de grabación-lectura** (B); **la electrónica que acompaña el equipo es clásica.**



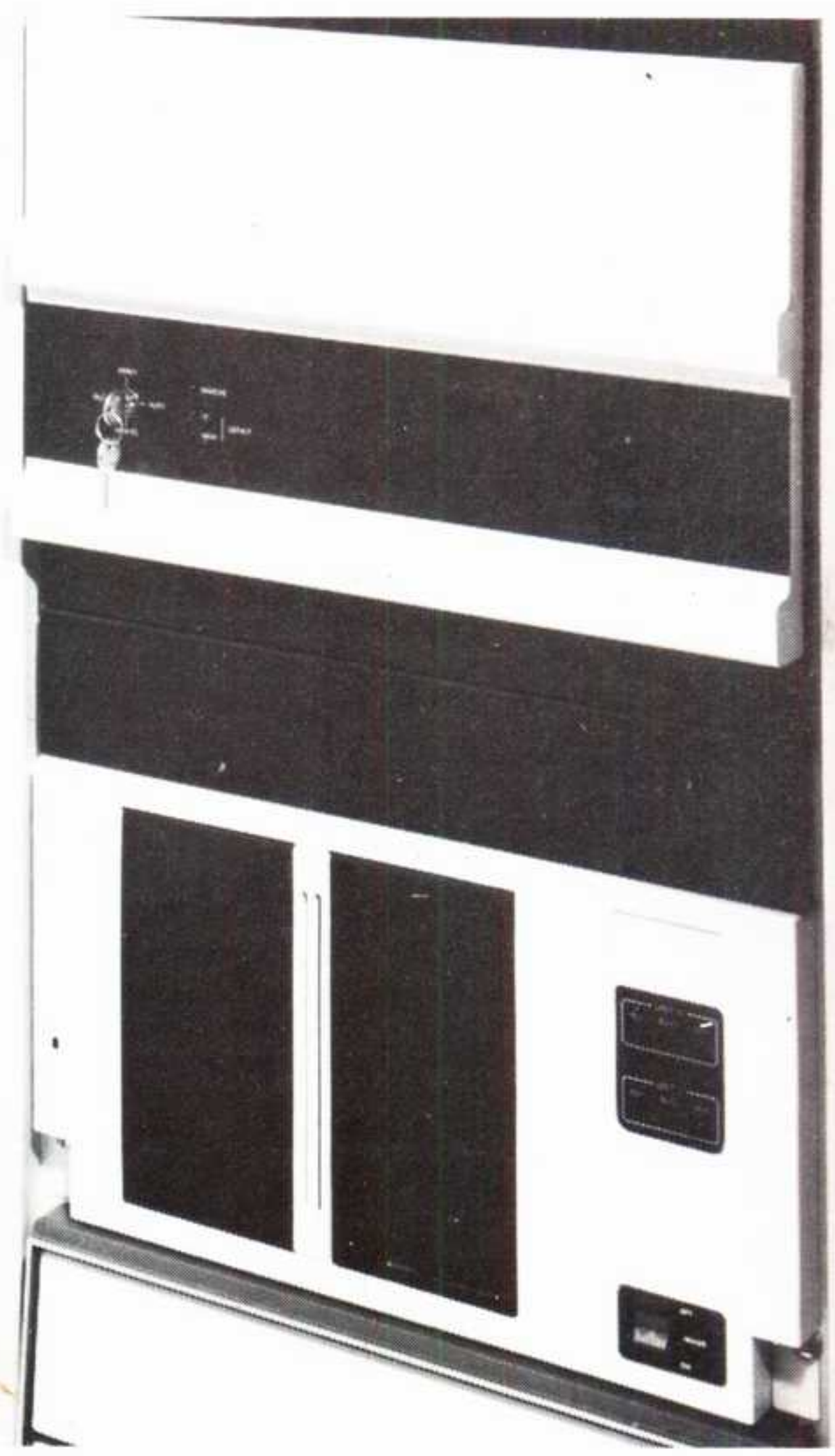
* Aun cuando la industria no suele distinguir entre digital (d) y numérico (N), *Mundo Científico* entiende que:
$d \in N$
$N \notin d$
y procede diferenciar, por tanto, entre concepto (N) y forma (d).

han aportado a la misma numerosos perfeccionamientos, tanto desde el punto de vista de la capacidad de almacenamiento de la información como desde el de la facilidad de explotación de las memorias del ordenador. Sin embargo, el principio del registro magnético nunca se ha cuestionado: los discos se han hecho más densos y más fiables, luego han aparecido los «discos flexibles» y, finalmente, las cintas y cartuchos lanzados por IBM y Fujitsu han permitido un incremento de la densidad de almacenamiento de la información alfanumérica. A pesar de estos progresos, las memorias magnéticas no han abierto el campo del archivado automático. Se les reprocha el hecho de tener una duración de almacenamiento muy corta sin regeneración, de tener tendencia a borrarse muy fácilmente. Su coste y su volumen se hacen disuasivos cuando se trata de archivar libros enteros, colecciones de periódicos, grandes planos y dibujos.

El disco óptico numérico: un descendiente del videodisco

Hace unos diez años, los técnicos electrónicos consideraban que el almacenamiento óptico por videodisco abriría una primera brecha en el monopolio del registro magnético. Los videodiscos que se ofrecen actualmente al gran público norteamericano son efectivamente discos de plástico grabados, bien por un estilete (sistemas RCA y JVC) bien por un laser (sistemas Philips, Thomson-CSF y Pioneer). Su capacidad es suficientemente elevada para almacenar un número de imágenes que corresponde aproximadamente a una hora de filme de televisión (al ritmo de 25 imágenes por segundo). Esto representa aproximadamente 50 000 imágenes por cara, o sea una capacidad de 128 Gigabites, dado que una imagen de televisión necesita 2,6 Megabites de información. Desafortunadamente, el procedimiento empleado en las aplicaciones audiovisuales de gran público no está adaptado al campo profesional, y la laguna no puede llenarse con la reciente puesta a punto de discos audionuméricos. El videodisco se contenta con tratar la imagen de forma analógica. Su procedimiento de registro se denomina analógico en contraposición a un procedimiento digital que sólo procesa bites (series de 0 y de 1) y que tiene la ventaja de ser compatible con los equipos de informática. Codificar numéricamente una imagen o una información es un problema delicado que precisa de un muestreo seguido de una cuantificación. Además, al contrario de lo que sucede en las cintas de video, en los videodiscos no puede escribirse directamente, en la medida en que el proceso consiste en registrar un original en relieve y después duplicarlo mediante un procedimiento análogo al empleado en los discos microsurco de audio (prensado por una réplica metálica). Por consiguiente, la lectura o recuperación

Figura 2. **La tecnología del disco óptico numérico deriva de la del videodisco. Las empresas que han sido las primeras en explotar el videodisco también son las más avanzadas en los sistemas de discos numéricos. Los laboratorios de Thomson-CSF han puesto a punto un aparato con muy buenas prestaciones, que deberá probarse sin cesar en el marco de las experimentaciones realizadas principalmente por el servicio de Correos, Telégrafos y Teléfonos franceses (véase la fotografía). Philips ofrece un puesto completo de trabajo de archivado y consulta con el nombre de Mégadoc. Una vez más, la tecnología europea está por delante de sus competidores. Sólo falta saber si la agresividad comercial del Viejo Continente y el buen hacer industrial de nuestras empresas les permitirán ganar la partida económica.** (Foto Thomson-CSF.)



El coste de los sistemas será una de las claves de su éxito o de su fracaso.

Soporte de almacenamiento	Capacidad (en bites)	Coste por 10^{11} bites almacenados (en pesetas)
Disco óptico numérico	10^{11}	860
Disco magnético	$2{,}5 \cdot 10^{9}$	344 000
Cinta magnética	5.10^{8}	120 000
Libro	10^{7}	34 500
Enciclopedia	10^{11}	34 500

Los discos ópticos numéricos, soportes de plástico de la información inscribibles por laser, son los que ofrecen (con un coste equivalente) una mayor capacidad de almacenamiento de la información.
Para ilustrar esta capacidad, observemos que 10^{11} bites representan aproximadamente 400 libros de 500 páginas escritas en pequeños caracteres, o sea ¡unos 12 metros de estanteria de biblioteca!

no puede ser inmediata, pero el precio de venta se reduce notablemente cuando las tiradas son grandes.

Sea como sea, el videodisco no entra por el momento en la burótica, a no ser para la consulta de imágenes o para filmes de demostraciones publicitarias. Ahora bien, las organizaciones modernas tienen necesidad de archivar por sí mismas, «a domicilio», sus propios documentos (*Mundo Científico*, n.º 10, p. 88, enero de 1982). El disco óptico numérico ofrece esta facilidad. Tecnológicamente, es la prolongación de los trabajos sobre el videodisco; en cambio, su explotación debería ofrecer la mayor parte de las ventajas del almacenamiento magnético, además de una gran duración de archivo y un menor coste (tabla).

Un sistema de disco óptico numérico comprende el disco propiamente dicho, una cabeza de lectura-grabación y la electrónica de mando. Las dos caras exteriores del disco son de plásticc; envuelven y protegen la superficie de sustancia termosensible de 0,03 μm de espesor, sobre la que se almacena la información. Su composición es uno de los puntos críticos del desarrollo del sistema y, hasta nueva orden, su secreto está bien guardado. Philips utiliza una aleación de telururo de arsénico y selenio y los demás fabricantes (Thomson-CSF, 3 M...) se contentan con decir que emplean un material termodeformable. La escritura consiste en fundir, vaporizar o degradar la capa termosensible por la acción de un haz laser concentrado sobre una zona de una micra de diámetro y modulado por la información que hay que registrar. Esta vez son los microagujeros o las microdeformaciones así obtenidos los elementos portadores de la información numérica (un agujero = 1; su ausencia = 0). Están dispuestos a lo largo de una espiral (la pista) de un paso del orden de 1,6 μm (fig. 1). Para asegurar la orientación del haz laser, simplificar los mecanismos de guiado y conducir informaciones que permitan volver a encontrar los datos (número de pista y número de sector), cada vez se tiende más a pregrabar el disco. Este grabado previo consiste en materializar varios surcos en el disco virgen en el momento de su fabricación, en forma de microrrelieves.

La restitución de la información almacenada, o lectura, se realiza también con la ayuda de un laser cuyo haz se envía sobre la superficie del disco grabado y se refleja de forma diferente según encuentre un agujero o no. Las diferencias de intensidad del haz reflejado las detecta e interpreta la electrónica del aparato. Según los fabricantes, el dispositivo de grabación-lectura comporta un solo laser que desempeña las dos funciones, o bien dos láseres diferentes, de los que el de escritura es más potente que el de lectura, puesto que debe fundir la sustancia termosensible. Los láseres de gas (argón, He-Ne) sirven solamente para la grabación, mientras que los láseres de semiconductores podrían asegurar las dos funciones: escritura y lectura.

Una vez grabado, el disco no puede borrarse. Sin embargo, en el momento de la escritura es posible la corrección automática. El laser que escribe asegura la lectura de lo que acaba de ser escrito y, en caso de error, vuelve a escribir el pasaje correcto más adelante. Para lograrlo, una parte del haz se deriva para la lectura inmediata. Para la informática de tratamiento «rápido», una memoria no borrable es un serio inconveniente, tanto más cuanto que la tasa de error después de la lectura y la corrección automática en el momento de la escritura es de 10^{11}, demasiado para el tratamiento informático «operacional». En cambio, para el archivado, esta característica constituye más bien una ventaja, tanto más cuanto que la fisicoquímica del disco óptico numérico le confiere una duración de vida probable de diez años. Como por otra parte es fácil y rápidamente reproducible, *a priori* constituye un soporte ideal para almacenar en memoria los archivos que se consultan a menudo, los textos de reglamentos y los diccionarios, por ejemplo.

Una enciclopedia por disco

La capacidad de los discos ópticos numéricos, teniendo en cuenta la finura de escritura de los láseres, es enorme: 10^{11} bites por cara, lo que representa, en alfanumérico (registro en caracteres alfabéticos de palabras colocadas en fila), el equivalente a 500 000 páginas mecanografiadas de formato A4, o sea tanto como el contenido de una enciclopedia de varios volúmenes como, por ejemplo, la Encyclopedia Universalis. El almacenamiento de imágenes o de fotografías, por ejemplo requiere su codificación mediante clave numérica asignada al tiempo de su «barrido», como con las señales de televisión. En cambio, la restitución de imágenes animadas es más delicada, ya que el flujo del sistema de disco óptico numérico sólo es de 4 Mbites/segundo, lo que resulta insuficiente para los filmes.

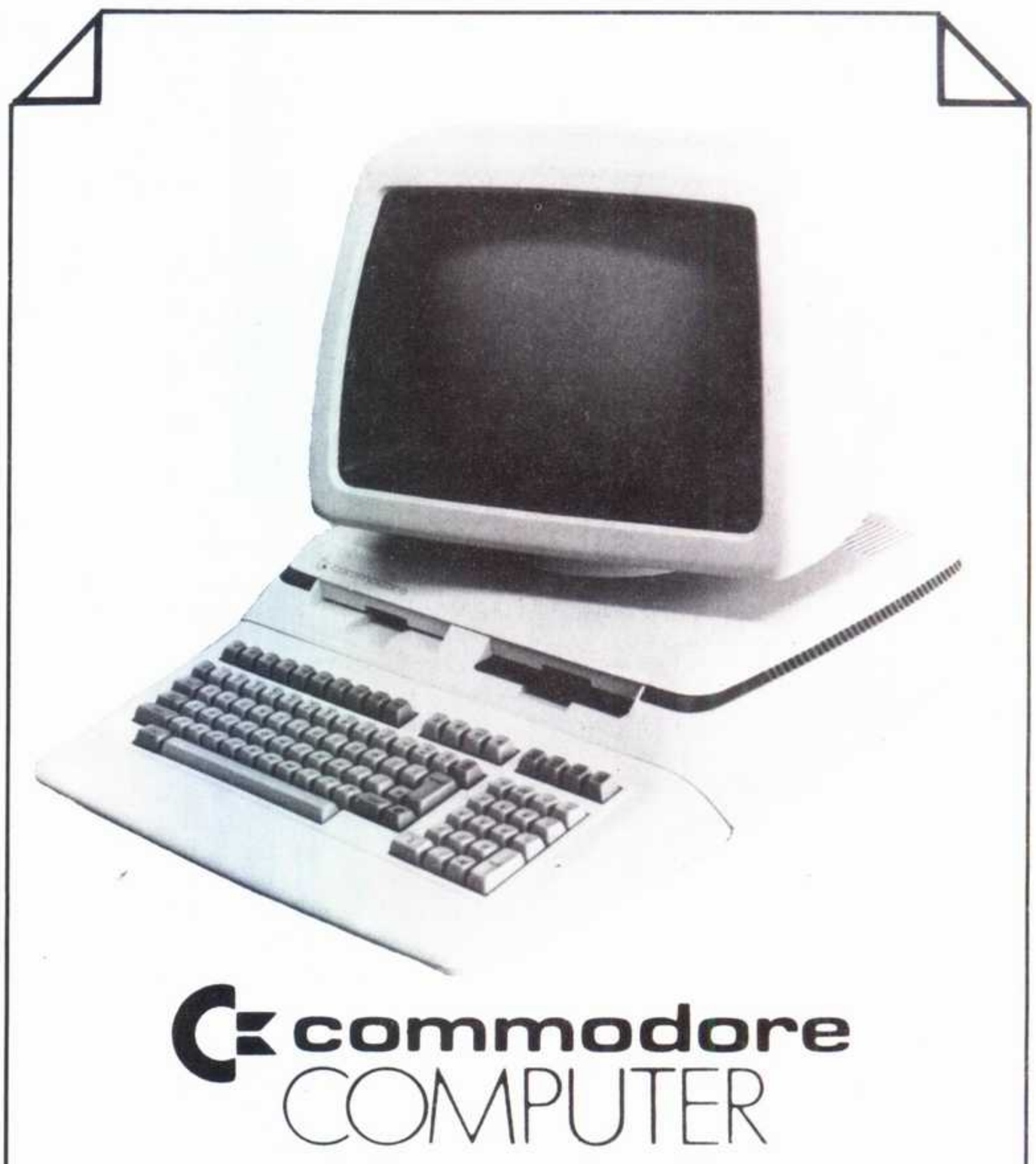
Solamente en Francia se manipulan por año aproximadamente medio billón de páginas. Únicamente el 5 % de esta cantidad está actualmente en forma magnética (y el 2 % en forma de microfichas). Además, sin esperar la puesta en el mercado de los sistemas de disco óptico numérico, los observadores estadounidenses estiman que su industria debería llegar a los ochenta y cinco mil millones de pesetas en 1990. Los nombres más grandes de la informática y de la burótica se han lanzado al desarrollo de equipos de archivo de disco óptico numérico. Entre los más avanzados se encuentran, naturalmente, los pioneros del videodisco de laser: Thomson-CSF y Philips. El sistema Thomson, puesto a punto en el Laboratorio Central de Investigación de Corbeille por un equipo dirigido por F. Le Carvennec, es un aparato muy compacto (45 × 14 × 60 cm), de la parte baja de la gama y de coste relativamente bajo. Su sistema de grabación parece ofrecer buenas prestaciones y, en 1983, debería aparecer en el mercado bajo los dobles auspicios de Thomson y Xerox (fig. 2).

Philips, con su Mégadoc, ha tomado varias semanas de adelanto en el plano

comercial. El sistema construido en Eindhoven permite archivar y clasificar automáticamente en un disco, y en un segundo, documentos mecanografiados o manuscritos. El disco en sí funciona como se ha descrito anteriormente, pero el sistema Mégadoc maneja 64 de ellos al mismo tiempo; los discos van apilados al estilo «jukebox», y el sistema completo comprende los procesadores, los periféricos y los órganos de comunicación necesarios para todas las fases del proceso, especialmente para la entrada y la codificación numérica de las páginas. Hay un fabricante poco conocido que está resultando muy activo en el campo del cifrado por inscripción laser; se trata de la sociedad Dexler (California), que acaba de anunciar la salida de su sistema, el Drexon. Jerome Drexler ya se ha dado a conocer por su toma de posición contra las tarjetas de pago magnéticas y las tarjetas de crédito por microprocesador, preconizando su muerte prematura por efecto de la competencia de su sistema de inscripción numérica por laser. Su llegada al mundo de la burótica tampoco deja indiferente al medio; sin embargo, las máquinas propuestas a los compradores aún son muy caras; de unas 1 700 a 340 000 pesetas. También se vigila muy de cerca a los japoneses. En este contexto, Toshiba ha presentado su sistema (el DF-2000), pero es seguro que todos los fabricantes japoneses están esperando que el mercado se precise para, a la vista de las experiencias de los primeros aventureros, ofertar mejores precios.

Naturalmente, el coste de los sistemas será una de las principales claves de su éxito o de su fracaso. En este aspecto, las incertidumbres aún son grandes y, si todo va bien sobre el plano técnico, los precios dependerán en gran medida de la magnitud de las series que se fabriquen. Ahora bien, el conocimiento de las verdaderas necesidades de la burótica aún es muy mediocre, a pesar del considerable esfuerzo realizado desde hace años por los especialistas en estudios de mercado. Para conocer realmente la respuesta de la «clientela» sólo cuenta la experimentación en condiciones de explotación real, pero los voluntarios son poco numerosos en tanto los materiales sean caros. De ahí que, en Francia, Correos, Telégrafos y Teléfonos se dispongan a experimentar en sus propios servicios; el proyecto PAPYRUS, actualmente en curso de lanzamiento, debería permitir ensayar las ventajas e inconvenientes del sistema de discos ópticos numéricos y la consulta de textos de reglamentos en un terminal de visualización de fácil manejo.

Gérard Couturier.



Dentro del marco de las novedades previstas para 1982, Commodore plantea dos líneas claramente diferenciadas: el mercado de consumo, con los computadores personales orientados a juegos, principalmente y al aprendizaje de la informática;
y el de Sistemas, con la nueva y «revolucionaria» idea del microcomputador «universal» que permitirá ejecutar programas pensados para cualquier marca de microcomputadores, y la nueva serie de discos Winchester, de reducido costo y alta fiabilidad, que amplian las capacidades de memoria secundaria.

Novedades Commodore:

VIC 10 «ULTIMAX» - VIC 30 - COMMODORE 64
COMMODORE 500 - COMMODORE 700
COMMODORE 9060 y 9090 - COMMODORE 8250.

MICROELECTRONICA Y CONTROL, S.A.

Taquígrafo Serra, 7-5.º
Barcelona-29

Princesa, 47
Madrid-8

Unos investigadores han puesto a punto un cine de rayos X de 40 millones de imágenes por segundo.

La cinematografía ultrarrápida con rayos X

■ La radiografía o impresión de negativos con rayos X es bien conocida por sus aplicaciones médicas e industriales. En general, la placa radiográfica sólo puede obtenerse con precisión suficiente si el objeto permanece inmóvil o en movimiento escaso. Por contra, si el objeto que debe radiografiarse está animado de un movimiento muy rápido (por ejemplo, de una velocidad comprendida entre 100 m/s y 10 000 m/s), es preciso acudir a una técnica particular, denominada «radiografía-destello», que emplea impulsos de rayos X intensos y de corta duración (de 10 a 100 mil millonésimas de segundo) que permiten obtener una instantánea. Dos congresos celebrados en París en 1981[1,2] han visto la presentación de espectaculares desarrollos de esta técnica, puesta a punto en 1938, que ha adquirido importancia creciente desde hace algunos años para el estudio de fenómenos físicos fugaces.

Más de cuarenta años de aplicaciones en los campos más variados

Entre los campos de aplicación de la radiografía-destello, la Medicina ocupa un lugar importante, pues gracias a esta técnica ya es posible observar el rápido desplazamiento de los órganos sometidos a choques; las investigaciones sobre las lesiones por accidente, y los medios de protección pertinentes, se basan en radiografías instantáneas de ciertas partes del cuerpo (tórax, rodillas, cabeza, etc.) fracturadas o lesas con ocasión de colisiones experimentales.[3] En la industria, la técnica se emplea para el análisis de piezas en movimiento, para el estudio del funcionamiento de interruptores de alta tensión, examen de la fusión de un fusible[4] o de la colada en moldes de fundición. Así, en este último caso, es posible observar la formación de bolsas de aire en un molde durante el desplazamiento del líquido y determinar las causas,[5] lo que a menudo es difícil después de la soldificación y vaciado.

La radiografía-destello también se utiliza para ciertas visualizaciones rápidas en aerodinámica e hidrodinámica. A título de ejemplos, con impulsos de rayos X pueden observarse ondas de compresión en líquidos o gases, generadas por chispas o explosiones de hilos. Estos estudios permiten pronun-

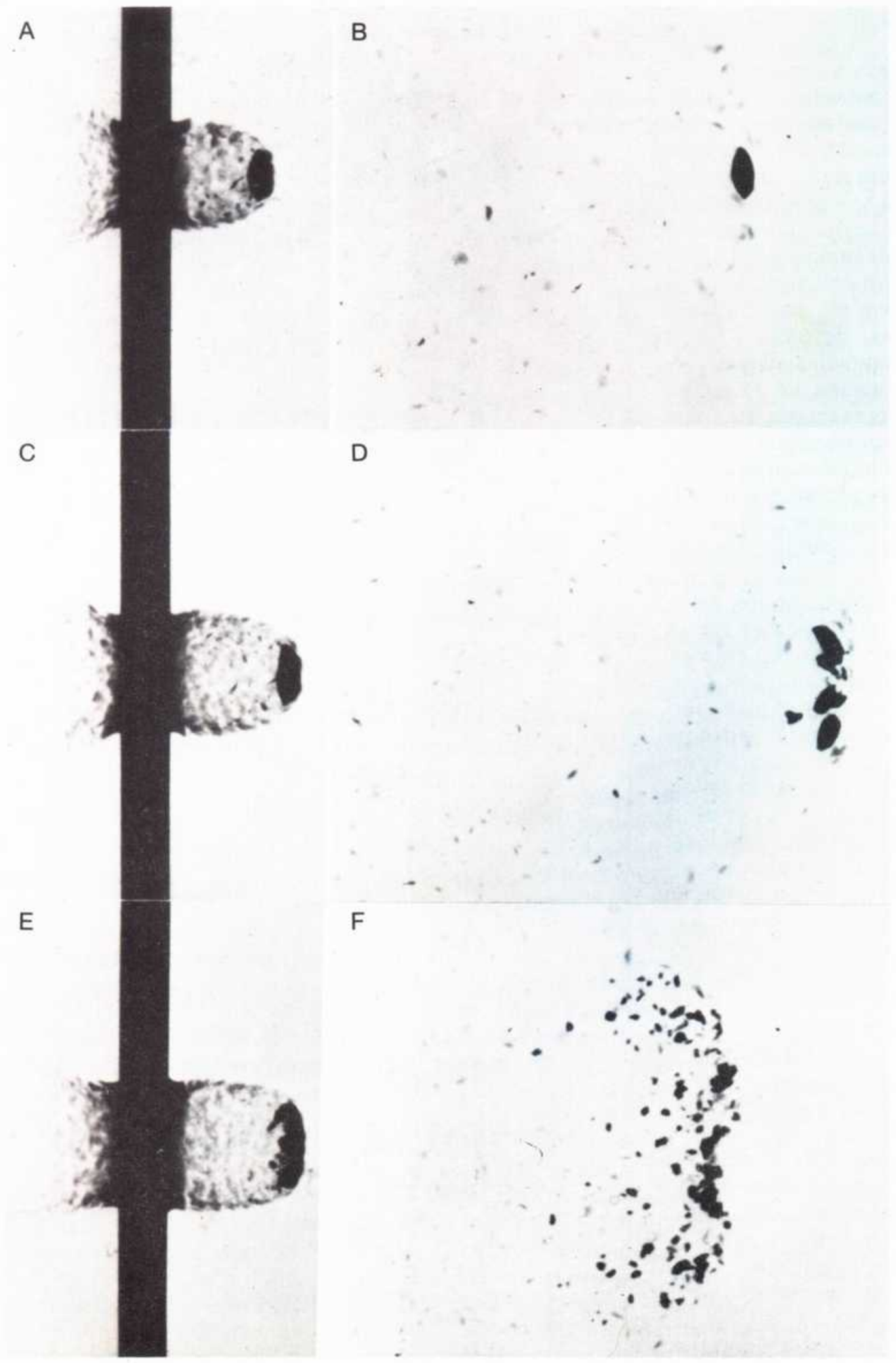


Figura 1. **El estudio detallado del impacto de bolas de acero de 9 mm de diámetro al chocar contra blancos delgados de duraluminio de 8 mm de espesor no era posible antes del advenimiento de la radiografía-destello. En el Instituto franco-alemán de investigaciones de Saint-Louis hemos intentado determinar los diversos regimenes de penetración en función de las velocidades diferentes: el primer negativo se ha tomado a la salida del proyectil del blanco y el segundo a aproximadamente 200 mm de la cara posterior. Los seis documentos indican que a una velocidad de impacto de 2 750 m/s** (A, B), **el proyectil sale deformado del blanco (una parte del mismo se ha consumido durante la penetración), pero entero, mientras que a 3 050 m/s** (C, D), **la bola se fragmenta en varios trozos y, finalmente, a 4 100 m/s** (E, F), **el proyectil se destruye completamente. Su división en pequeños fragmentos sugiere la idea de proteger los vehículos espaciales contra los impactos de micrometeoritos hiperveloces envolviéndolos con varias cubiertas delgadas y escalonadas.** (Radiografías ISL.)

(1) 1er Congreso europeo de cinerradiografía por fotones o partículas, Paris, 18-21 mayo 1981.
(2) Coloquio «Le cinéma grande vitesse. Instrumentations et applications», ANRT, Paris, diciembre 1981.
(3) M. Bender, J.W. Melvin, R.L. Stalnaker, 20 th Stapp Car Crash Conference, 1977.
(4) W. Schaafs, *Messtechnik, 5/70,* 85, 1970.
R. Germer, *J. Phys. E: Sci. Instrum., 12,* 336, 1979.
(5) Hewlett Packard, Mc Minville Division, *Technical Bulletin,* vol. 4, 2, 1965.
(6) R. Germer, O. Lürs, 13 th. Int. Cong. High Speed Phot. and Photonics, Tokio, 20-25 agosto 1978.

Figura 2. **Estas fotografías, en lo sucesivo clásicas para los especialistas, ilustran el interés de la cinerradiografía-destello para seguir la evolución de ciertos fenómenos muy rápidos. La serie A muestra el movimiento de un cerebro que acusa el impacto con una velocidad de 5 m/s en el hueso temporal: la flecha indica el desplazamiento (curvatura) de la arteria cerebral anterior. (De S.A. Shatsky).[11] La Serie B muestra la difusión del material de un electrodo con funda en el momento de una soldadura al arco de 12 V, 20 A: la frecuencia es de 2 000 imágenes por segundo, y la observación es posible a pesar de un resplandor propio muy intenso. Los esfuerzos actuales de la investigación se orientan esencialmente hacia una disminución del intervalo de tiempo entre dos imágenes sucesivas, lo que conduce a resolver dos problemas esenciales: la producción de varios impulsos de rayos X sucesivos y la separación de las imágenes obtenidas.** (Fotos ISL.)

ciarse sobre la forma de las ondas y su propagación, al igual que gracias a las leyes de absorción de los rayos X, conocer la presión. Es preciso observar que las ondas de compresión en los gases sólo pueden observarse mediante el empleo de productos contrastantes.[6,7]

Pero es en los campos de la balística y de la detónica donde las aplicaciones son más espectaculares. En el último simposio internacional de balística que se celebró en Orlando en octubre de 1981[8] se ha podido comprobar que la mayoría de los estudios se basan en la radiografía-destello para el establecimiento de datos experimentales: por ejemplo, sobre el comportamiento de un proyectil saliendo de un cañón (donde la existencia de un intenso resplandor propio impide la utilización de cualquier otra técnica de observación) o alcanzando un blanco. La onda de detonación o la proyección de material con los explosivos (cargas huecas, etc.) se observan exclusivamente por radiografía-destello.

La técnica empleada para producir impulsos intensos de rayos X es muy diferente a la que se encuentra en la radiografía médica o industrial. El principio es sencillo: entre dos electrodos situados en el vacío se aplica una diferencia de potencial de varios centenares de kilovoltios, e incluso de varios megavoltios, que produce una descarga de algunos miles de amperios o más. La emisión de rayos X que acompaña a esta descarga es muy intensa. También es posible obtener una radiación X particularmente penetrante con la ayuda de los aceleradores de partículas, técnica empleada en el Comisariado de la Energía Atómica y en los Laboratorios de Los Alamos.[9]

El punto delicado de esta técnica es el método de sincronización empleado: el fenómeno físico de estudio debe proporcionar una señal que, convenientemente amplificada y retardada, disparará el aparato de radiografía. Los impulsos eléctricos de sincronización proceden de cortocircuitos, de contactos, de barreras ópticas (interrupción de un haz laser, por ejemplo) o de barreras de rayos X.

En muchos casos, una sola radiografía-destello es insuficiente para un estudio profundo del suceso. Procede repetir entonces la experiencia para lograr tomas en instantes diferentes, lo que puede ser difícil, si no imposible, si el fenómeno no es reproducible (fragmentado de una cubierta por una detonación, etc.). De ahí nace la necesidad de obtener varias impresiones sucesivas del mismo fenómeno, cuya evolución puede seguirse entonces mediante una verdadera cinematografía con rayos X de muy alta frecuencia, denominada cinerradiografía-destello. Esta técnica aún no se ha perfilado del todo y es objeto de continuos perfeccionamientos. Los impulsos de rayos X pueden producirse por descargas sucesivas en un mismo tubo, pero entonces la frecuencia queda limitada a 10 000 impulsos por segundo, debido a la desaparición demasiado lenta de los vapores metálicos creados en el espacio ánodo-cátodo en el momento de producirse la descarga.[7]

Empleando varios aparatos de radiografía-destello pueden conseguirse frecuencias muy elevadas, pero el paralaje puede ser una fuente de errores en la interpretación de las tomas, y el campo de observación es limitado. En el Instituto franco-alemán de investigaciones de Saint-Louis hemos podido poner a punto un nuevo equipo que permite alcanzar 40 millones de imágenes por segundo[10] y evita estos dos últimos inconvenientes. En el mismo recinto de vacío se reúnen varios espacios de descarga, y las imágenes se separan mediante una cámara electrónica rápida. De esta forma pueden estudiarse fenómenos de balística que no presentan simetría de revolución (por ejemplo, el impacto de un proyectil sobre un blanco oblicuo). La calidad de las imágenes obtenidas de esta forma y su separación espacial plantean problemas que aún no están resueltos y sobre los cuales trabajan numerosos laboratorios, entre

(7) F. Jamet y G. Thomer, *Flash radiography*, Elsevier, 1976.
(8) 6 th. Int. Symp. on Ballistics, Orlando, Florida, 27-29 octubre 1981.
(9) J. Marilleau, L. Bonnet, G.G. Arcin, R. Guix, R. Loichot, *Proc. 10 th Int. Cong. High Speed Phot.* A.N.R.T., París, 1972: D. Venable y cols., Los Alamos Scientific Lab., Reportaje LA-3241, 1967.
(10) F. Jamet, F. Hatterer, 1er cong. européen de cinéradiographie par photons et particules. A.N.R.T., París, 18-21 mayo 1981.
(11) S.A. Shatsky, 17 th. Stapp Car Crash Conference, 1974.

La radiografía ultrarrápida de rayos X permite obtener una visión más dinámica del estado íntimo de la materia.

otros, los de Los Alamos, los de las firmas Magnacine y Hewlett Packard en Estados Unidos, de Hadland en Gran Bretaña, y el del Comisariado de la Energía Atómica en Francia.

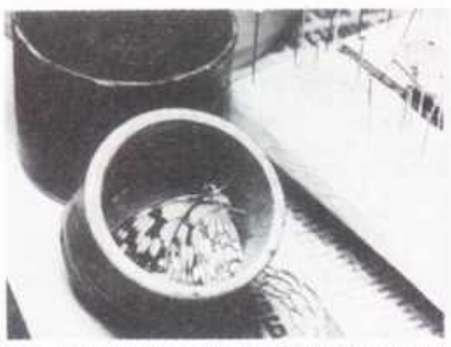
¿Una revolución en cristalografía?

Las investigaciones actuales en radiografía-destello se orientan hacia la utilización de esta técnica para los estudios de difracción X. Un intenso impulso de radiación X permite obtener un diagrama de difracción (diagrama de Laue, diagrama de Debye-Scherer, etc.) en un tiempo tan corto, que es posible obtener informaciones sobre el estado cristalino de un material sometido a esfuerzos brutales (por ejemplo, una onda de choque). En estos estudios se tropieza con una importante dificultad: la intensidad de la radiación X emitida por los aparatos de radiografía-destello es a menudo insuficiente. Por tanto, es necesario mejorar al mismo tiempo los aparatos y los métodos de registro. Se trata de técnicas de punta que permitirán acceder a conocimientos sobre el estado de la materia sometida a condiciones extremas de presión, de temperatura o de velocidad de deformación. Son los equipos de Q. Johnson (Lawrence Livermore National Laboratories), de A. Sawaoka (Research Laboratory of Engineering Materials, Meguro, Tokyo), de F. Jamet (Instituto franco-alemán de investigaciones de Saint-Louis) y de F. Müller (Physikalisches Institüt der Universität Düsseldorf) los más activos en este campo. Las comunicaciones presentadas sobre este tema por Q. Johnson y F. Jamet en la conferencia internacional sobre las altas presiones (7ª Conferencia AIRAPT, Le Creusot, Francia 1979) han demostrado que con este método es posible medir la variación de la distancia entre los átomos de cuerpos sometidos a compresiones de 0,3 a 100 Gpa, lo que permitirá pronunciarse sobre las siguientes preguntas: ¿se conserva el orden cristalino en una onda de choque muy intensa? ¿Es que el paso del estado elástico al estado plástico se acompaña de una reordenación de la estructura cristalina? ¿Se conserva el sistema cristalino (cúbico, etc.) bajo presión dinámica muy elevada? ¿Qué valores hay que dar a ciertos parámetros de las ecuaciones de estado? El desarrollo de las fuentes de impulsos intensos de rayos X ha hecho posible el acercamiento al conocimiento del estado íntimo de la materia mientras está sometida a esfuerzos rápidos (compresiones y tracciones dinámicas, variaciones brutales de temperatura, percusiones y choques, etc.).

*Francis Jamet.**

* Instituto Franco-Alemán de Investigaciones de Saint-Louis.

Excepto las mariposas, los insectos que tienen las antenas largas, se preparan colocándolas hacia atras y paralelas al cuerpo mediante agujas que mantienen las distintas partes del cuerpo en la posición deseada, hasta que el insecto queda seco y pueden retirarse (de 10 a 15 dias).
Para lograr una cierta regularidad en las colecciones, es necesario que los insectos estén clavados a una misma altura (generalmente a una cuarta parte del alfiler) y que los rótulos que indican la localidad, la altura, la fecha, el nombre del observador y el de la especie también sigan cierto orden. Es fácil conseguirlo utilizando un bloque de madera con escalones perforados; al introducir los alfileres en los agujeros, los insectos y los rotulos quedan a las alturas deseadas.

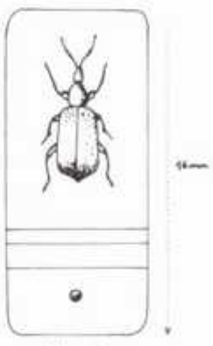


Modelo de bote de caza para observación en vivo.

Bloque de madera con escalones perforados.

Extendedores y material entomológico.

Posición correcta de las alas.



Minucias

Los insectos pequeños se acostumbran a montar en cartulinas pequeñas rectangulares (minucias) de unos 16, 14 y 12 mm.
Algunos entomólogos prefieren los de forma triangular alargada, pegando el insecto en el vértice por la cara inferior. A la goma destinada a pegar insectos en la cartulina, se le debe añadir un poco de azúcar cande para que al secarse no se agriete y asi evitar que se despeguen con la humedad.

Extensión de las alas:

Los Lepidópteros y en general los Neuropteros, se preparan con las alas extendidas, lo que permite observar todos los caracteres importantes para la clasificación y estudio, y tomar medidas

Prácticas de Biología

J. Cuello, M. Hernández, J. Josa, J. Massegú, S. Sarquella, M. Ballesteros, M. Blas, J. Estany, F. Pereira y X. Martínez.
Profesores de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona.

Prácticas de Biología es un manual de laboratorio para el estudiante de Biología en su primer curso de Universidad, tanto para la licenciatura en Ciencias Biológicas como en aquellas otras que incluyen cursos de Biología General en su primer año. En buena medida es también adecuado para los cursos de introducción a la Universidad.

Aunque la obra va dirigida al alumno, con el fin de aportarle los protocolos y la descripción de las técnicas para la preparación de materiales y el diseño de experiencias, *Prácticas de Biología* no es únicamente un manual de laboratorio. Su contenido incluye abundantes explicaciones de carácter teórico destinadas a hacer más comprensibles los ejercicios y experimentos propuestos. Asimismo, es de utilidad para el profesor por cuanto contiene una información concreta y suficiente sobre la obtención, cuidado, mantenimiento y preparación de los materiales necesarios para los ejercicios.

Una de las principales cualidades de *Prácticas de Biología* es la amplitud y diversidad de su temario, que puede adaptarse prácticamente a cualquier programa de biología general, tanto si en él predominan los aspectos biológicos, como los médicos. Por otra parte, la obra contiene numerosas y precisas orientaciones e informaciones para el trabajo de campo.

Formato: 21 x 29 cms., cubierta plastificada. 284 páginas con 16 láminas a todo color.
P.V.P.: 1.050 pts.

Pidalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.
Valencia, 359 - 6.º 1.ª
Barcelona-9 (España)

Informaciones y noticias

Concesión de los premios Fundación Príncipe de Asturias

Acta «Premio Príncipe de Asturias de Comunicación y Humanidades, 1982»

Reunidos en Oviedo los componentes del Jurado correspondiente al «Premio Príncipe de Asturias de Comunicación y Humanidades, 1982» integrado por D. Carlos Luis Álvarez, D. Luis María Ansón, D. Luis Michelena, D. Guillermo Luca de Tena, D. José Ortega Spottorno, D. Pedro Sáinz Rodríguez, presidido por D. José Ferrater Mora y actuando de secretario D. Juan Cueto Alas, deciden conceder por unanimidad el «Premio Príncipe de Asturias de Comunicación y Humanidades, 1982» a *D. Mario Augusto Bunge*, nacido en Buenos Aires y actualmente profesor de Filosofía en Canadá.

El Jurado, fiel a uno de los propósitos que han movido desde el principio a la Fundación Principado de Asturias de reconocer los méritos culturales y científicos en todo el ámbito de la lengua española, e intensificar de este modo los lazos culturales que unen a los miembros de esta comunidad, estimó conveniente esta vez prestar atención especial a la labor desarrollada por hispanoamericanos. Y es así que, aunque ha considerado diversos nombres muy meritorios de especialistas de la Comunicación y Humanidades en el territorio nacional, todos ellos merecedores de recompensa, ha querido destacar en esta ocasión, en la persona de un eminente argentino, el reconocimiento de la labor que se desarrolla en Ultramar en disciplinas que, como las Filosofías de las Ciencias Naturales y Sociales, tienen en el Doctor Mario Augusto Bunge uno de sus más distinguidos representantes.

Mario Augusto Bunge ha contribuido al análisis y fundamentación de teorías en el campo de las Ciencias Naturales y Sociales con una larga serie de trabajos que vienen influyendo grandemente en la investigación que se realiza en estas materias tanto en España como en Hispanoamérica.

Acta «Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica, 1982»

Reunidos en Oviedo los componentes del jurado correspondiente al «Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica, 1982» integrado por D. Nicolás Cabrera Sánchez, D. José Manuel Fernández Felgueroso, D. Antonio González González, D. Francisco Grande Covián, D. Luis Federico Leloir, D. Juan Oró, D. Julio Rodríguez Villanueva, D. Alberto Sols García, presidido por D. Severo Ochoa de Albornoz, y actuando como secretario D. José Antonio Martínez Álvarez deciden conceder por unanimidad el «Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica, 1982» a D. Manuel Ballester Boix.

El Jurado desea dejar constancia de la alta cualificación de varios de los candidatos al Premio, así mismo resaltar como valor sintético de la acción científica del Premiado sus estudios sobre radicales libres de gran estabilidad que él obtuvo por primera vez abriendo un dilatado campo a la investigación en Química Orgánica con múltiples posibilidades de aplicaciones tecnológicas.

Durante la estancia en Oviedo, de los miembros del Jurado del Premio de Investigación Científica y Técnica, redactaron el siguiente manifiesto:

Por el futuro de la Ciencia en España

El desarrollo español y el bienestar de la población española en general depende del progreso de la Ciencia en nuestro país. Esto hace indispensable que haya más y mejor Ciencia en España. Para conseguirlo, es necesario planificar su desarrollo hasta alcanzar lo antes posible un nivel competitivo internacional. El elemento decisivo en lo referente a la financiación de la Ciencia en España no debe ser cuánto podemos presupuestar para ella, sino la medida en que podemos crecer científicamente. La inversión en ciencia, si se planifica y utiliza adecuadamente, no es un gasto oneroso sino una inversión altamente rentable.

Consideramos que la Ciencia no ha recibido apoyo suficiente de nuestra sociedad. Los científicos de hoy y los de mañana deben contar con medios y facilidades lo que no excluye una estricta exigencia de responsabilidades. El investigador que recibe medios de la sociedad tiene el deber, bien de conseguir resultados prácticos o de contribuir al avance del conocimiento.

Una organización razonable de la Ciencia en España debe perseguir los siguientes objetivos:

1. Abrir amplios y permanentes cauces para la incorporación de jóvenes científicos, ya formados o en vías de formación a las actividades científicas y técnicas de España.
2. Destinar al desarrollo científico más medios con garantía de continuidad y a un ritmo creciente, hasta alcanzar una inversión anual del orden del dos por ciento del Producto Interior Bruto.
3. Facilitar que los fondos destinados a la Investigación puedan ser utilizados eficaz y flexiblemente por los científicos, sin innecesarias trabas administrativas.
4. Establecer prioridades para la ivestigación aplicada u orientada reservando un margen porcentual significativo para la investigación básica.
5. Estimular la productividad de los investigadores y hacer una evaluación realista de sus resultados.
6. Potenciar el interés de la sociedad por el desarrollo científico y técnico en España.

Consideramos sumamente importante la aprobación de una ley sobre Investigación Científica y Técnica para la consecución de los objetivos mencionados.

El grupo de científicos abajo firmantes, reunidos con ocasión de la concesión del Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica, creen reflejar y expresar el sentimiento de la mayor parte de los científicos de este país.

II Simposio Nacional sobre la Enseñanza de la Geología

PRESENTACIÓN

El equipo coordinador del II Simposio desea la colaboración y asistencia de todos aquellos profesionales de la enseñanza que, de alguna manera, estén relacionados con la Geología, en los actos que se celebrarán en Gijón en el Salón de Actos de la Antigua Universidad Laboral (CEI), entre los días 20 y 25 de Septiembre de 1982.

OBJETIVOS

La consolidación del camino emprendido en el I Simposio para lo cual proponemos:

Analizar, actualizar y mejorar todos los niveles y grados de la enseñanza, para lograr así una mayor colaboración interdisciplinar.
Exponer nuevas técnicas y experiencias.
Proponer, si cabe, cambios en la estructuración de las materias.
Exigir, dentro de las posibilidades reales, una dotación y equipo mínimo para poder llevar a buen fin nuestra labor.

Insistir en la dignificación de la figura del enseñante, etc.

COLECTIVOS PARTICIPANTES

Entre otros: EGB, FP, BUP, Facultades de Biología, Geografía, Geología y Químicas, Escuelas de Minas, Montes, Magisterio, Instituciones relacionadas con la Pedagogía, Clubes Culturales y Asociaciones, Estudiantes, etc.

ORGANIZACIÓN GENERAL

Lugar: Gijón. En el Salón de Actos de la Antigua Universidad Laboral.
Fechas: mes de setiembre. Durante los días 20, 21, 22, 23, 24 y 25.
La inauguración será el 20, a las cuatro de la tarde.
Dos de los días, el 25 y otro a determinar, se destinarán al recorrido de los itinerarios pedagógicos siguientes: «Parque Nacional de Covadonga» y «Borde costero del Cabo Peñas».
Inscripción: las cuotas son las siguientes:
Profesionales en activo ..... 1.500 ptas.
Sin empleo y estudiantes ..... 500 ptas.
La cuota correspondiente se ingresará en el Banco Urquijo de Gijón; cta. cte. n.º 03.890995.01, II Simposio Enseñanza Geología; antes del 1 de Septiembre.
Alojamiento: existe la posibilidad de alojarse en el centro. Pensión completa, aprox. 1.300 ptas. diarias. Interesados solicitar reserva de plaza a la Secretaría del Simposio. Antes del 1 de Junio, a ser posible.

SECCIONES:

(A) SITUACIÓN PRESENTE Y EVOLUCIÓN IDEAL DE LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA.
(A1).—Los niveles primario y medio.
(A2).—El nivel superior y las especialidades.

(B) PEDAGOGÍA DE LA GEOLOGÍA.
(B1).—Clases teóricas.
(B2).—Medios audiovisuales.
(B3).—Clases prácticas.
(B4).—Prácticas de campo.

(C) LOS PROFESIONALES Y LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA.

(D) ENSEÑANZA, HISTORIA, FILOSOFÍA y EPISTEMOLOGÍA DE LA GEOLOGÍA.

(E) OTRAS SECCIONES, GRUPOS DE TRABAJO:
—La formación de los geólogos en la Universidad y las salidas profesionales.
—La Geología en las Escuelas Universitarias del Profesorado de EGB y en el Nivel Primario.
—La Geología en el Nivel Medio.
—Prácticas de Campo y Laboratorio.
—Elaboración y aplicación de documentos y textos.
—Medios Audiovisuales.
—Museos y Exposiciones.
—Actualización y perfeccionamiento del profesorado.
—Nuevas secciones y grupos.
«Algunas de las ponencias debatidas en el anterior Simposio que pueden servir de orientación».
—Técnicas de estudio de la Paleontología en los niveleś de 8.º de EGB y 1.º de BUP.
—Estructuras básicas para la enseñanza de la Geología de BUP.
—Las enseñanzas de la Geología en las facultades de letras.
—Un programa de Geología para las Escuelas Universitarias del Profesorado de EGB.
—Líneas modernas para una planificación pedagógica de la Paleontología.
—Utilidad de la transparencia múltiple en el estudio de perfiles topográficos.
—Prácticas de campo: alternativa a la excursión tradicional.
—La Geología en los Museos de Ciencias Naturales.
—La formación teórica y el geólogo profesional.
—Cursos de graduados.
—Los orígenes de la enseñanza de la Geología en España.

RESÚMENES Y COMUNICACIONES

Con el fin de elaborar rápidamente un programa, a los participantes que deseen presentar alguna comunicación les rogamos, encarecidamente, atenerse a la siguiente normativa:
Mecanografiar el resumen (o resúmenes) de la ponencia a doble espacio, respetando márgenes de 25 mm., en papel DIN-A 4 y por duplicado, no sobrepasando la extensión de una cara.
En caso de presentar bloque de diapositivas, transparencias, películas, etc., conviene especificarlo en el resumen.
En el vestíbulo del Salón de Actos se colocarán paneles a disposición de los ponentes.

COORDINADORES

Alumnos: José Luis González Lozano -COU- 4-CEI de Gijón. EGB: Julio César Fernández. C.N.Mx. «Primo de Rivera»: Avda. Argentina- La Calzada. Gijón. FP: Daniel López Marijuán Instituto Politécnico de Gijón: c/. Oriamendi, s/n. - GIJÓN. BUP: Rafael Simancas.
INEM. Mix. de Pola de Siero: Barrio de la Ferlera, s/n. Pola de Siero (Asturias) Universidad: José Agueda.
Dpto. de Estratigrafía de la Facultad de C. Geológicas de Oviedo - c/. Jesús Arias de Velasco, s/n. - Oviedo.
COORDINADOR GENERAL: Raimundo Pidal - Dpto de C. Naturales —CEI de Gijón— Cabueñes (Gijón).

Oceanografía del Mediterráneo occidental

Anualmente, la Societat Catalana de Biologia y la Institució Catalana d'Història Natural celebran una reunión conjunta sobre un tema monográfico. Tal reunión ha tenido lugar este año en Ciutat de Mallorca los días 30 de abril y 1 y 2 de mayo, colaborando en la misma también la Societat d'Història Natural de Balears.
El tema de las dos jornadas de sesiones fue «Oceanografía del Mediterráneo Occidental», presentándose cerca de cuarenta comunicaciones estructuradas alrededor de cuatro unidades temáticas: meteorología y oceanografía física, el ecosistema pelágico, ecosistemas costeros y ecosistemas bentónicos. El tercer día se dedicó a una excursión por la isla, visitándose diversas formaciones geológicas de interés paleooceanográfico (arrecifes fósiles) y observándose diversas peculiaridades de la flora balear.
El interés del tema hizo que la participación fuera numerosa: los inscritos alcanzaron el centenar, estando representados todos los centros que, en Cataluña y Baleares, estudian el mar desde una u otra perspectiva (departamentos universitarios, institutos de investigación, etc.) así como científicos de otros puntos de la geografía española. Si alguna conclusión general quiere extraerse de esta reunión, tal vez la más sobresaliente sea que, si bien las ciencias del mar en nuestro país no tienen la fecunda tradición de otros lugares, sí existe, al menos, una serie de equipos y de personas altamente capacitados para llevar a cabo tareas de investigación oceanográfica; si bien en la actualidad estas capacidades están netamente infrautilizadas por motivos de índole administrativo-presupuestario, esperemos que en el futuro se corrija esta situación. Reuniones como la comentada, además de ser lugar y oportunidad para un interesante intercambio de ideas y puntos de vista, crítica de métodos, comparación de resultados y demás, pueden y deben, sin duda, contribuir a ello.

Actas del II Simposio Ibérico de Estudios del Bentos Marino

El número 5 de la revista *Oecologia aquatica*, publicación del Departamento de Ecología de la universidad de Barcelona, que dirige el Dr. Ramón Margalef, acaba de aparecer, recogiendo una parte de las comunicaciones que fueron presentadas en el II Simposio Ibérico de estudios del bentos marino (véase *Mundo Científico*, n.º 3, p. 336). Se trata de 22 artículos que abordan el estudio del bentos marino desde un punto de vista autoecológico o de ecología general, o bien que desarrollan algún tipo de metodología. A este volumen seguirán en breve otros dos (uno de ellos con los trabajos de tipo bionómico y sinecológico y el otro con aportaciones sistemáticas, florísticas o faunísticas), con lo cual quedará completada la edición de las actas de este Simposio. Los interesados en suscribirse a dicha edición pueden escribir al Grupo de Bentos del Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona. Gran Via de les Corts Catalanes 585, Barcelona-7.

Curso de iniciación al análisis clínico

Organizado por la Facultad de Farmacia de la Universidad de Navarra con la colaboración de las Facultades de Medicina, Ciencias y Clínica Universitaria, se celebrará del 13 de setiembre al 1 de octubre de 1982, un Curso de Iniciación al Análisis Clínico, cuyo programa está dividido en tres secciones: Hematología, Microbiología y Bioquímica y que constará de 33 clases teóricas y 60 horas de clases prácticas.
Para más información dirigirse a la siguiente dirección:
Dña. Maruja López Garín
Secretaría Facultad de Farmacia
Universidad de Navarra
Pamplona
Tel.: 948 - 25 21 50 (ext. 255)

II Jornadas Internacionales de cine científico de Sevilla

Es una realidad el interés que existe en los países desarrollados por la utilización de la imagen en la docencia y en la investigación. Es práctica común en ellos la utilización del cine en sus laboratorios de investigación (igual que el tubo de ensayo o el microscopio), en la labor pedagógica en todos los niveles y en la divulgación del saber para cualquier tipo de público. Existe en este aspecto una relación directa entre el grado de desarrollo cultural y cinetífico de un país y la producción y utilización del cine científico en sus niveles de investigación, didáctico y de divulgación.

En nuestro país la producción y utilización del cine científico es prácticamente nula, por lo que en la actualidad, y en una actitud realista, la única alternativa para hacer algo serio y viable por este tipo de cine es la organización de unas sesiones en las que se muestre una amplia panorámica del cine que se hace en los países en los que sí existe la infraestructura necesaria, y al mismo tiempo, y como fin primordial, mostrar la utilidad práctica que se puede obtener de la producción de cine científico.

En este contexto, se han celebrado en Sevilla durante los días 22 al 27 de marzo las «II Jornadas Internacionales de Cine Científico de Sevilla» que, en conjunto, han despertado un gran interés en el numeroso público asistente.

Esta segunda edición de las Jornadas ha estado patrocinada por el Ministerio de Educación y Ciencia. La organización estuvo a cargo del Grupo Cine Científico y Didáctico, en colaboración con el ICE de la Universidad de Sevilla. Otras entidades colaboradoras han sido: Asociación Española de Cine Científico; Excmo. Ayuntamiento de Sevilla; Ministerio de Cultura; Instituto Alemán; Filmoteca de la Embajada de Canadá; Asociación Cultural Hispano-Norteamericana; Embajada de Francia; British Council; Embajada de la República Popular China; Embajada de la URSS; Instituto Cinematográfico de Göttingen; Asociación de Licenciados en Biología de España; Caja de Ahorros San Fernando de Sevilla; Dirección de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales; Decanato de la Facultad de Matemáticas; Decanato de la Facultad de Biología; Decanato de la Facultad de Bellas Artes; Klett Films, Stuttgart; Kodak, S.A.; Movinter.

Los países participantes en esta muestra han sido: República Federal Alemana, con 33 films; Estados Unidos, con 16; Francia, con 7; España, con 7; Canadá, con 6; Inglaterra, con 4; URSS, con 3; República Popular China, con 1; y Hungría, con 1. En total, el número de películas proyectadas ha sido de 77, distribuidas en los distintos ciclos y secciones programados.

Estas «II Jornadas Internacionales de Cine Científico de Sevilla» fueron estructuradas de tal manera que las películas se han presentado en forma de ciclos y secciones especiales, o bien como complemento de las ponencias que se han desarrollado a lo largo de los seis días que han durado las jornadas. En los dos ciclos programados —Ciclo de Cine de Investigación Científica y Ciclo de Cine Científico Didáctico— se ofreció una amplia panorámica del cine realizado en los distintos países en los aspectos de investigación y didáctico, estando cada una de las películas presentadas por un especialista en el tema. En los ciclos monográficos, denominados por los organizadores «Secciones Especiales», se expuso una visión del cine científico realizado en la Unión Soviética, en la República Popular China y en el Instituto Cinematográfico de Göttingen en la R. F. Alemana.

Una novedad a destacar en esta segunda edición es la presentación de ponencias, nueve en total, en algunas de las cuales se trataron temas directamente relacionados con el cine científico y didáctico, tocándose en otras temas científicos en los que el cine actuó como elemento complementario y de motivación.

Paralelamente a la celebración de estas Jornadas se convocó el «II Certamen Nacional de Diapositiva Científica», patrocinado por la firma Kodak, y al que concurrieron unos doscientos trabajos. El Jurado estuvo compuesto por D. Guillermo Zúñiga, Presidente de la Asociación Española de Cine Científico; D. Ysmael Álvarez, Secretario de dicha Asociación; D. José M.ª Ródenas, Profesor de Estética y Crítica del Film en la Cátedra de Cinematografía de la Universidad de Valladolid; D. Carlos del Amo, Director del Programa de Cine Didáctico de la Subdirección General de Perfeccionamiento del Profesorado del Ministerio de Educación y Ciencia; y D. Juan A. Jiménez, Director del Centro Educativo del Medio Ambiente «Los Molinos», de la Caja de Ahorros de Alicante y Murcia, actuando como asesor técnico D. José M.ª Tortolero, del Grupo Cine Científico y Didáctico. Este Jurado conceció el Primer Premio a D. J. Carlos García Gómez, por el conjunto de su trabajo sobre Opistobranquios.

El Grupo Cine Científico y Didáctico, organizador de estas Jornadas desde su primera edición, lleva cuatro años trabajando en el mundo de la imagen aplicada a la Ciencia. En la actualidad realiza cine y fotografía, teniendo en preparación varios proyectos para video. La obra más importante realizada por este equipo ha sido el largometraje en Super 8: «El Peñón de Zaframagón: Introducción a un estudio ecológico», presentada en estas «II Jornadas Internacionales de Cine Científico», y en el que se muestra cómo debe enfocarse el estudio completo (geología, suelos, vegetación, fauna, recursos) de una zona determinada, desde el punto de vista ecológico. En su doble vertiente de producción y divulgación, el Grupo Cine Científico y Didáctico, además de la realización de cine y diaporamas, organiza proyecciones de films científicos y colabora en varias publicaciones.

El Grupo de Cine Científico ha participado recientemente en la organización, junto con la Dirección General de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, de las Primeras Jornadas de cine sobre protección del medio ambiente.

Manuel Perea Trujillo
Pedro Millán Sáenz

Para más información dirigirse a: Grupo de Cine Científico. Facultad de Biología. Universidad de Sevilla. Sevilla.

La Fundación Juan March, convoca becas y ayudas, en un plan de cuatro años, para estudios de Biología Molecular

La Fundación Juan March hace pública una convocatoria de becas y ayudas en el campo de la Biología Molecular y sus Aplicaciones, dentro de un Plan Especial de Biología que pondrá en marcha desde el próximo 1 de enero para los cuatro años siguientes. Además de este campo de la ciencia experimental, la Fundación proyecta apoyar el área de las ciencias sociales por medio de diferentes acciones también concretas, como la formación de especialistas, fuera de nuestro país, en el campo de la administración territorial autónoma.

Prosiguiendo su acción en la modalidad de conceder ayudas y becas para España y el extranjero, la Fundación Juan March ha realizado a lo largo de los últimos tres años diferentes estudios para seleccionar áreas específicas que permitan obtener resultados apreciables y eviten la dispersión de esfuerzos, finalidades que persiguen la práctica totalidad de las Fundaciones similares en el mundo. Al igual que sucedía en sus inicios hace 25 años —fecha desde la cual ha concedido 5.198 becas— la Fundación Juan March trata así de dar respuesta a las exigencias actuales y previsibles en el campo científico, dentro de una sociedad cambiante, tratando de colaborar a plantear y mejorar iniciativas que puedan también sumarse a otras de tipo público o privado. Estas nuevas líneas de acción, en lugar de las convocatorias anuales que venían haciéndose en más de veinte áreas distintas, no eliminan la posibilidad de que la Fundación Juan March estudie y apoye por vía de operación especial cualquier otra iniciativa científica o artística.

En el caso de la Biología Molecular y sus Aplicaciones, se ha comprobado que actualmente es una ciencia experimental que tiene uno de los mayores índices de crecimiento a escala internacional, con una amplia gama de repercusiones prácticas y una gran diversidad de procedencias científicas: biólogos, médicos, farmacéuticos, químicos, físicos, ingenieros, matemáticos, veterinarios y otros. En cuanto a la propia Fundación, los resultados han sido positivos en anteriores líneas semejantes, como el apoyo a la Genética, Neurobiología, Especies y Medios biológicos españoles y métodos físicos aplicados a la biología.

CONVOCATORIA ABIERTA

La finalidad de las becas que ahora se convocan se concreta en la formación de personal investigador especializado y en el intercambio de conocimientos entre los distintos grupos o laboratorios que se dedican a las especialidades citadas, al tener que realizar el becario el trabajo objeto de su beca en laboratorio distinto al habitual en que haya desarrollado su labor en los últimos dos años. Para atender con rapidez las demandas que puedan surgir a lo largo del Plan, se ofrece una convocatoria abierta, sin fechas prefijadas de presentación de instancias, con al menos tres reuniones anuales y periódicas del jurado, que será público.

Las becas serán de dos tipos, siempre de carácter postdoctoral. Las primeras de duración máxima de tres meses, en España o el extranjero, para facilitar una corta estancia en laboratorio donde puedan realizar una puesta al día o el aprendizaje de nuevas técnicas. Las segundas, también para España y el extranjero, con una duración de hasta dos años, serán para la formación en laboratorios diferentes. Las de España están dotadas con 60.000 pesetas mensuales y las del extranjero con 1.000 dólares, más el importe de los gastos de viajes de ida y vuelta y los del cónyuge en su caso.

Con objeto de impartir cursos o seminarios, promover el aprendizaje de nuevas técnicas, etc. el Plan de Biología Molecular facilitará estancias de científicos extranjeros de esta especialidad en Centros o Laboratorios españoles, a propuesta de éstos.

La dotación paralela que en algunos casos puede concederse a los centros o laboratorios españoles que acojan a los becarios, será de hasta 150.000 pesetas anuales. Las becas serán indivisibles, para personas físicas.

Para más información dirigirse a: Fundación March. Castelló, 77. Madrid-6.

Finaliza el ciclo del profesor Ferraz, en la Fundación Juan March, sobre «Historia y Ciencia»

«En nuestros días la ciencia ha destruido muchos de nuestros sistemas de valores, creando una situación radicalmente nueva y distinta en la historia de la humanidad. La tarea urgente, con vistas al futuro, de reintegrar la ciencia en la existencia humana se enfrenta, hoy por hoy, con grandes obstáculos que es necesario ir salvando para que sepamos realmente en qué situación histórica nos encontramos». Así ve el panorama de la incidencia de la ciencia en la vida del hombre el profesor adjunto de la Universidad Autónoma de Madrid, Antonio Ferraz, quien ha impartido un ciclo de conferencias en la Fundación Juan March sobre el tema de «Historia y Ciencia».

El profesor Ferraz ha abordado la importancia que para el desarrollo de la existencia humana han tenido cuatro momentos fundamentales en la relación de la historia y la ciencia, desde la constitución de ésta en la Antigüedad helénica, «con la aparición, por vez primera, de un tipo de racionalidad que es peculiar de la ciencia»; para pasar al vigoroso renacer en la modernidad, en los siglos XVI y XVII, «línea de progreso en cuya base se enclava la gran obra astronómica de Copérnico y que estará jalonada por la revolución que realizan Giordano Bruno, Kepler y que culmina en Newton, creador de la Mecánica celeste»; y llegar, finalmente, a una segunda revolución científica, que se produce desde entonces hasta nuestros días, localizada en el siglo pasado y profundamente marcada por la Relatividad y la Física Cuántica, «revolución que conduce a una determinación más rica y precisa de la realidad y que incide de forma clara en la profunda crisis del hombre de nuestros días».

En cuanto a la prospección del futuro, explicó el profesor Ferraz en su última conferencia que se ha metodizado y tecnificado. Entre algunas de las previsiones realizadas en la década del 60, enunció Ferraz algunos como la desalinización del agua del mar, prevista para 1970, o la traducción automática de idiomas, que ya se ha cumplido; y otros, previstos para el año 2.000, como el gobierno químico del envejecimiento, para alargar la vida, el manejo de la gravedad, la interacción electromecánica entre el cerebro y la computadora, la creación de vida molecular primitiva, etc. «Se prevé que la cifra de dos millones de investigadores y técnicos que existen hoy en Estados Unidos será de 10 millones en el año 2.000 y que, en general, seguirá creciendo exponencialmente la actividad científica así como la conciencia de responsabilidad social de los científicos.»

La situación de desarraigo a que la ciencia ha llevado al hombre es en nuestros días muy grave, opina Ferraz. Ninguna de las dos actitudes, optimista y pesimista, con respecto a la prospección futura de la relación del hombre y la ciencia, se justifican plenamente, en su opinión: «ni la ciencia abre al hombre todo un mundo maravilloso, ni los peligros que supone conducirán a un total desastre. Se habla —y de hecho se está trabajando— en el desmantelamiento de planetas para aprovecharlos económicamente, la llamada civilización de Fase 2, que bordea la ciencia ficción, pero que tiene una base científica. Creo que hay que buscar el puente que armonice coherentemente la dimensión cognoscitiva, intelectiva del hombre y su dimensión activa, volitiva. Es decir, el deber operativo de la ciencia ha de ser realizar y no destruir. El privilegio más esencial del hombre es poder orientar el dinamismo de la Naturaleza, en cuanto es consciente de él. Además, aunque el hombre forme parte de la Naturaleza, no hay que olvidar que la realidad nos trasciende y supera siempre; el hombre puede ser destruido, la realidad, no».

Según el profesor Ferraz «El planteamiento de la cuestión del sentido de la ciencia en el futuro debe hacerse integrando ésta en una constelación de actitudes más amplia, en una colaboración entre científicos, filósofos, políticos, sociólogos, teólogos, etc. Es cierto que tal colaboración es difícil y llena de obstáculos, y de ahí que haya base para el pesimismo y el temor en el futuro de la humanidad. A lo largo de la historia de la ciencia, se ve que el progreso de ésta ha caminado siempre hacia un mayor sentido de la "universalidad", es decir, un camino con acciones que sean de verdad válidas para todos y abierto al futuro.»

Antonio Ferraz es Doctor en Filosofía y, desde 1976, Profesor Adjunto de Historia de la Filosofía e Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid. Es Secretario de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias.

Análisis de la investigación biomédica en España*

por Jesús Sebastián

Tribuna libre

Jesús Sebastián es investigador del Instituto de Enzimología y Patología Molecular (CSIC-UAM) y miembro de la Comisión Científica del CSIC.

■ Es muy importante que los debates sobre el papel actual de la ciencia y de la investigación dentro del marco de las sociedades industriales y de la propia crisis de esta sociedad, debates sobre los problemas de la promoción y organización de la investigación científica, salgan del reducido ámbito de los propios investigadores y comiencen a permear e impregnar a todo el tejido social. Sólo cuando la sociedad demande investigación científica, tomarán los poderes públicos las acciones necesarias para potenciarla. Entre tanto seguirá siendo una actividad marginal en la actuación del Estado, apenas guiada en unos casos por el espontaneísmo y voluntarismo de los propios investigadores y usufructuada, en otros, por algunos sectores económicos o intereses políticos determinados, no siempre coincidentes con los intereses de la mayoría de la sociedad española. En cualquier caso, y aunque no exista todavía en España esta demanda social, que sería el motor del relanzamiento de la investigación científica, rige ya un compromiso constitucional que es urgente llevar a la práctica y que según reza el Artículo 44 señala que «los poderes públicos promoverán la ciencia y la investigación científica y técnica en beneficio del interés general».

Hecha esta consideración general atendamos al estado actual de la investigación en el campo de la salud y biología en España es decir, en la biomedicina, palabra que creo que integra felizmente toda la investigación que repercute y se proyecta en la salud de las personas, entendiendo ésta en su sentido más amplio, no sólo como ausencia de enfermedad, sino como utilización plena de todas las potencialidades humanas, con el consiguiente bienestar físico, mental y social.

Con este planteamiento, la investigación biológica es fundamental, pues establece las bases necesarias para el conocimiento del organismo humano y de sus alteraciones fisiopatológicas, aportando el marco conceptual, metodológico e instrumental para el mantenimiento del organismo sano y el tratamiento del organismo enfermo.

Estado actual de la investigación biológica

La Biología, como ciencia que se ocupa del estudio de los organismos vivos en todas sus manifestaciones e interrelaciones, se encuentra actualmente en una fase expansiva y crucial no solamente desde el punto de vista del propio conocimiento científico, sino también ante la perspectiva de las proyecciones que los nuevos conocimientos tendrán en el futuro en diferentes sectores de gran interés económico y social, entre los que cabe señalar el agroalimentario, ya por lo que hace a la producción vegetal y animal ya a la transformación de los alimentos. El campo del aprovechamiento, transformación y conservación de los recursos naturales renovables, del medio ambiente, de la ordenación del territorio, de las energías alternativas, de la producción industrial de compuestos químicos y biológicos, en fin, de la sanidad.

La mayoría de estas proyecciones y aplicaciones del conocimiento biológico se basan en la utilización y explotación de las potencialidades de los microorganismos, de las células animales y vegetales, de las fracciones subcelulares y de los procesos biológicos. Ya están siendo consideradas por muchos como el motor de una nueva revolución industrial, la biotecnológica, continuación de la producida por la microelectrónica y la robotización. La biotecnología es, sin duda, una alternativa más económica y más «limpia» para muchos de los actuales procesos industriales, y los grandes grupos transnacionales del sector agroalimentario, de la química fina y del sector farmacéutico-sanitario la han escogido como fuente de su desarrollo futuro.

Una de las grandes lecciones de la investigación biológica actual es la inexistencia de barreras entre la investigación básica o fundamental y la aplicada. La continuidad entre una y otra es evidente. Del propio conocimiento de los procesos biológicos generado por la investigación fundamental surge al punto su proyección en otros campos. Cabe citar dos ejemplos recientes. El descubrimiento de los enzimas de restricción abrió las puertas para el estudio de la organización de los genes de cualquier tipo de organismos, así como para su manipulación experimental y en consecuencia, para el desarrollo de la ingeniería genética, soporte de buen número de nuevas biotecnologías. El segundo ejemplo es consecuencia de estudios sobre biología celular que dieron lugar a la obtención experimental de hibridomas y al descubrimiento de la propiedad de este nuevo tipo de células de producir anticuerpos específicos, anticuerpos monoclonales. Estas investigaciones abrieron en seguida la posibilidad de utilizar estos conocimientos técnicos para el desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas y de los animales. Estos dos ejemplos muestran la continuidad entre investigación fundamental y aplicación de los conocimientos por ella originados. Pues bien, donde se confunde lo fundamental y lo aplicado es en la investigación biomédica, donde el conocimiento de los procesos biológicos del organismo normal es la base para su mantenimiento como organismo normal y para su tratamiento cuando sufre un proceso patológico. Las diferencias entre la investigación biológica fundamental y la investigación clínica son, pues, difíciles de señalar y deberían ir reduciéndose y fundiéndose en una investigación biomédica integradora de ambas.

La segunda lección de la investigación biológica actual es la necesidad de los enfoques multidisciplinarios para el conocimiento de los procesos biológicos. La Biología, a diferencia de otras ciencias experimentales, tiene que hacer frente al estudio de sistemas de gran complejidad y de un alto grado de ordenación y organización. En conse-

	Comisión Asesora (1980)		FIS (1981)		Total	
	Millones de pesetas	%	Millones de pesetas	%	Millones de pesetas	%
Facultades de Medicina	286	33	36	12	396	34
Hospitales Clínicos	—	—	74	24		
Facultades de Ciencias	150	17	0,9	< 1	150,9	13
Facultades de Farmacia	68	8	0,6	< 1	68,6	6
Facultades de Veterinaria	12	1	—	—	12	1
CSIC	270	32	36	12	306	26
Hospitales Seguridad Social	5	< 1	119	39	124	11
Fundación Jiménez Díaz	21	2	18	6	39	3
Otras	41	5	18	6	59	5
TOTAL	853		302,5		1.155,5	

Tabla I. **Subvenciones concedidas por la comisión asesora y por el fondo de investigaciones sanitarias para proyectos incluidos en el campo de ciencias de la vida y de ciencias médicas.**

* Ponencia presentada en el debate sobre el panorama de la investigación en España (Fundación Pablo Iglesias).

cuencia, la investigación biológica ha recurrido al método reduccionista, aislando los problemas y los procesos, compartimentalizando los niveles de análisis (bioquímico, fisiológico, celular, genético, etc.) y separando incluso el temario de estudio (microbiología, botánica, zoología). Este planteamiento de la investigación biológica ha conducido a una sobrevaloración de los niveles de análisis, de las disciplinas tradicionales, en detrimento de la unidad y lógica interna del organismo vivo como un todo ordenado y organizado. El próximo gran cambio cualitativo en cuanto a nuestro conocimiento de los organismos vivos se producirá, probablemente, cuando se elabore el marco conceptual y metodológico capaz de superar el reduccionismo y compartimentalización tradicional de la ciencia biológica. Mientras tanto y como una aproximación a esta meta científica es preciso ir cambiando la mentalidad de los investigadores, en el sentido de dar prioridad al estudio integral y multidisciplinario de procesos biológicos, más o menos complejos, pero bien definidos. La fertilidad de este enfoque experimental, de esta mentalidad más bien, está demostrada. La revolución que introdujo en la biología de los años 60 la biología molecular fue ni más ni menos la consecuencia de definir un proceso fundamental, la regulación de la expresión de los genes en bacterias y de realizar una aproximación interdisciplinaria a este problema, utilizando y superando el marco conceptual y metodológico que ofrecían la bioquímica, la genética y la microbiología. El conocimiento de los grandes temas presentes en la frontera de la investigación biológica, como la organización y expresión del genoma de los organismos superiores, la regulación hormonal, la neurobiología, la inmunología y la biología del desarrollo, sólo será posible con ese enfoque conceptual y experimental multidisciplinario. La participación y colaboración de biólogos moleculares, bioquímicos, fisiólogos, morfólogos, biólogos celulares, genetistas, y además, en el caso de la biomedicina, de farmacólogos, toxicólogos, clínicos, etc. es fundamental para el futuro desarrollo de la biología y de la biomedicina.

Estas dos consideraciones, continuidad entre investigación básica y aplicada y necesidad del enfoque multidisciplinario no son disquisiciones gratuitas. Por el contrario, son fundamentales para elaborar una sólida política científica y llevar a cabo una organización de la investigación en el campo de las ciencias biológicas y de la investigación biomédica en el momento actual.

Organización y financiación de la investigación biomédica en España

Cuatro preguntas se nos antojan al punto pertinentes: ¿cuántos investigan?, ¿dónde investigan?, ¿en qué se investiga?, y ¿con cuánto se investiga?.

Datos de 1974 recogidos en el informe de España en la MINISPOL de 1978 y publicados por UNESCO señalan la existencia de unos 8 000 científicos e ingenieros trabajando en el sector I + D, siendo el 65 % de ellos, es decir unos 5 300, pertenecientes al sector público. Estas cifras representan unos 2 científicos e ingenieros por cada 10 000 habitantes. Solamente dos países en Europa tienen una relación más baja: Chipre y Malta.

Por otra parte, en 1980 la Dirección General de Política Científica del Ministerio de Universidades e Investigación ha publicado un catálago de científicos españoles, resultado de una encuesta realizada en universidades, centros de investigación y en unas 2 000 empresas. Este documento señala la existencia de unos 16 000 científicos con alguna dedicación a tareas de investigación científica y tecnológica, de los cuales unos 10 500 pertenecen a universidades. El número total de científicos relacionados con el sector de las Ciencias Biológicas es de 2 000 y con las Ciencias Médicas de unos 1 500, es decir, que entre los dos sectores suman alrededor del 20 % del conjunto de los científicos españoles. Sin embargo, hay que hacer constar que el documento no depura estos datos para reducirlos a número de investigadores equivalentes en jornada completa. Una gran mayoría de los científicos relacionados realizan investigación simultaneándola con otras actividades. En consecuencia estas cifras pueden considerarse como un potencial máximo.

Hay más datos, que permiten evaluar el número de científicos que trabajan activamente en investigación. Así, aquellos resultantes del examen de las peticiones de subvenciones para el desarrollo de proyectos de investigación realizadas a los diferentes entes financiadores, en nuestro caso, la Comisión Asesora y el Fondo de Investigaciones Sanitarias (FIS). Si se examinan las peticiones realizadas a la Comisión Asesora en su convocatoria de 1979, que es especialmente significativa puesto que se produce después de unos años en que no las hubo, y en consecuencia puede decirse que la casi totalidad de la población científica activa solicitó subvenciones, se encuentra que en el sector de Ciencias de la Vida se solicitaron subvenciones para 336 proyectos que incluían 1 070 investigadores en equivalentes a jornada completa. En el sector de las Ciencias Médicas se solicitaron subvenciones para 175 proyectos que incluían 444 investigadores. La Comisión Asesora solamente aprobó subvenciones para 145 Proyectos en Ciencias de la Vida y 79 en Ciencias Médicas, lo que comprende a 578 y 222 investigadores respectivamente. A estas cifras tendrían que añadirse alrededor de 200 investigadores que utilizaron el FIS como fuente de financiación para sus proyectos de investigación.

Como resumen de todos estos datos

	N.º Proyectos subvencionados	Subvenciones millones de pesetas	%
Madrid	90	398,6	46
Barcelona	30	104,9	12
Salamanca	16	51,8	6
Sevilla	12	46,2	5
Granada	17	43,7	5
Valencia	10	37,6	4,4
Pamplona	8	33,7	3,9
Oviedo	6	27,1	3,1
Bilbao	3	19,4	2,2
Murcia	4	18,9	2,2
Valladolid	3	12,2	1,4
Santiago	4	11,7	1,4
Zaragoza	6	11,1	1,3
Córdoba	5	10,8	1,2
Badajoz	3	10,4	1,2
La Laguna	4	9,1	1,0
León	2	8,0	0,9
Santander	1	5,0	0,6

Tabla II. **Distribución geografica de las subvenciones para proyectos de investigación concedidas por la comisión asesora (1980).**

	N.º Proyectos	Subvenciones	
	subvencionados	millones de pesetas	%
Madrid	186	158,2	52
Barcelona	47	41,2	14
Salamanca	16	18,1	6
Granada	12	11,0	4
Santander	11	10,7	3,5
Pamplona	12	8,2	2,7
Valladolid	6	8,0	2,6
Asturias	16	6,8	2,2
Zaragoza	8	5,3	1,7
Valencia	14	4,7	1,5
Sevilla	7	4,5	1,5
Santiago	3	4,1	1,3
Bilbao	4	3,9	1,3
Santa Cruz de Tenerife	1	3,7	1,2
Badajoz	4	2,9	1,0
San Sebastián	1	2,5	0,8
Málaga	3	2,4	0,8
Coruña	5	1,2	0,4
Murcia	3	1,2	0,4
Palma de Mallorca	1	0,9	0,3
Tarragona	1	0,6	0,2
Córdoba	4	0,5	0,16
Vitoria	1	0,4	0,13
Cádiz	1	0,3	0,1
Teruel	1	0,2	0,07
Lérida	1	0,1	0,03
Burgos	1	0,1	0,03

Tabla III. **Distribución geográfica de las subvenciones para proyectos de investigación concedidas por el fondo de investigaciones sanitarias (1981).**

puede decirse que el número total de investigadores activos en los campos de las Ciencias de la Vida y de las Ciencias Médicas no es muy superior en toda España a 1 500, número realmente pequeño, tanto en términos absolutos como relativos y que condiciona dramáticamente cualquier política científica a corto plazo en nuestro país, esta exigua cantidad resulta todavía más impresionante cuando se examinan áreas determinadas, como la inmunología, donde solamente 48 científicos se autodefinen como inmunólogos en toda España, o la toxicología, disciplina de la que se autodefinen especialistas solamente 17 investigadores, o las Ciencias de la Nutrición, con 40 investigadores, o en fin, la epidemiología, con 4 investigadores en su haber. Debo señalar que estos datos se encuentran en el Documento de 1980 del Ministerio de Universidades e Investigación. (Véase Tabla VI.)

¿Dónde se investiga?

La investigación que se realiza en el sector público dentro del campo de las ciencias biomédicas se centra en las universidades, el CSIC, los departamentos de investigación de algunos hospitales dependientes de la Seguridad Social y de las diputaciones. En España hay actualmente 9 Facultades de Farmacia, 19 de Ciencias Biológicas y 21 de Medicina, contando estas últimas con los correspondientes Hospitales Clínicos. El área de Biología y Biomedicina del CSIC engloba 15 Institutos y varios Centros Coordinados con las Universidades. Los Hospitales de la Seguridad Social que tienen departamentos de investigación con una cierta masa crítica son los de Puerta de Hierro, Ramón y Cajal y La Paz en Madrid y La Fe en Valencia. Debe también señalarse el departamento de investigación de la Fundación Jiménez Díaz.

No podemos abundar aquí sobre las peculiaridades de cada uno de estos centros, aunque sí evaluar su participación respectiva en la investigación biomédica española mediante el estudio de las subvenciones recibidas de la Comisión Asesora y del Fondo de Investigaciones Sanitarias para el desarrollo de proyectos de investigación. En el primer caso nos referimos a concesiones para realizar proyectos en el trienio 1980-82, y en el segundo, a las subvenciones concedidas en 1981. Los datos se muestran en la Tabla I. La conclusión de este estudio indica que las Facultades de Medicina con sus Hospitales Clínicos representan el 34 % de la investigación subvencionada, a continuación se encuentra el CSIC con el 26 %, las Facultades de Ciencias con el 13 %, los Hospitales de la Seguridad Social con el 11 % y las de Farmacia con el 6 %.

Una característica de la investigación biológica y biomédica española es su concentración geográfica. Las Tablas II y III muestran que el 50 % de las subvenciones para el desarrollo de proyectos de investigación concedidas por la Comisión Asesora y el Fondo de Investigaciones Sanitarias se concentran en centros de investigación localizados en Madrid. Barcelona se encuentra en segundo lugar, seguida de Salamanca, Granada y Sevilla. El 75 % de la investigación biomédica se concentra en estas cinco ciudades. No hay a nivel nacional un organismo encargado de la planificación y coordinación de la investigación biomédica española, organismo que en política científica se define como de segundo nivel y es, precisamente la ausencia del mismo, una de las deficiencias, más notables a la hora de elaborar y coordinar desde un primer momento un programa de investigación ante la situación de urgencia nacional planteada por el síndrome tóxico.

¿En qué se investiga?

Esta pregunta tiene una contestación clara y sin tintes peyorativos: en lo que cada investigador quiere y puede. Esta libertad de acción es la consecuencia de que ni el Estado, ni las diferentes instituciones, ni los centros de investigación, ni los entes financiadores han elaborado políticas concretas para el desarrollo de la investigación. No se han señalado prioridades ni se han determinado objetivos concretos. En realidad, esta situación refleja el carácter marginal y marginado de la investigación científica en España. Una total libertad de investigación, que en determinadas circunstancias tiene sus ventajas, encierra también muchos inconvenientes cuando conduce a la atomización y a la descoordinación e impide una colaboración en el sentido de aunar y potenciar esfuerzos y medios. Puede argüirse que con una comunidad científica tan pequeña como la española no es posible hacer más política que el mantenerla activa. Sin embargo, precisamente porque es pequeña, habría que potenciarla propiciando su interacción y colaboración, al mismo tiempo que concretando los objetivos en juego. Porque, además, hay una pregunta que necesariamente debe hacerse cada investigador ¿el trabajo científico del investigador debe servir exclusivamente para elaborar su propio *curriculum vitae*? Debe tratar de contribuir de alguna manera a la solución de problemas concretos de interés

Principales fuentes de financiación de la investigación. Dependencia económica y tecnológica.

	Universidades	CSIC	Hospitales	Total	%
Bioquímica	113	76	2	191	23
Fisiología	108	9	10	127	15
Microbiología	45	36		81	10
Biología celular	14	46		60	7
Neurobiología	25	30	4	59	7
Farmacología	35	11	5	51	6
Ciencias clínicas	33	8	8	49	6
Biología molecular	14	31		45	5
Genética	21	9	4	34	4
Patología	31			31	4
Toxicología	5		18	23	3
Inmunología	9	5	9	23	3
Botánica	6	11		17	2
Zoología	7	7		14	2
Medicina interna	13			13	1
Virología	2	4		6	< 1

Tabla IV. **Distribución por disciplinas de las subvenciones de la comisión asesora para proyectos de investigación (1980). (Millones de pesetas.)**

dentro del marco de la biomedicina y de mayor incidencia en nuestro país, aunque estos problemas no sean muy espectaculares desde el punto de vista de la investigación de vanguardia. Estos planteamientos no son sino aspectos parciales de un tema central que hay que debatir y decidir, alguna vez, a la hora de elaborar, algún día, una política científica en España. ¿Cuál es el papel de la investigación científica y qué se espera de ella en un país cada vez más dependiente económica, tecnológica y científicamente?

Pero, volvamos a la pregunta concreta. Del análisis de los 620 proyectos aprobados por la Comisión Asesora en los últimos años y de los 371 proyectos aprobados por el FIS en 1981 se deduce una gran heterogeneidad, con una marcada dispersión de esfuerzos, debido al reducido número de investigadores implicados en cada uno de los proyectos, sobre todo, en los financiados por el FIS. Casi el 50 % de las subvenciones aprobadas por la Comisión Asesora en 1980 se engloban en tres campos: Bioquímica, Fisiología y Microbiología, destacando la Bioquímica, que engloba al 23 % de las subvenciones. Por otra parte, campos como la Inmunología, Biología Molecular, Genética y Virología están poco representados a pesar de su importancia (Tabla IV). En el campo concreto de la Inmunología se aprecia una mayor presencia en los proyectos subvencionados por el FIS (Tabla V), en buena correlación con el hecho de que más del 50 % de los inmunólogos pertenecen a hospitales de la Seguridad Social (Tabla VI). La relativa asimetría entre los diferentes campos de investigación biológica se explica en buena parte por el espontaneísmo que ha caracterizado el desarrollo de la investigación española, que ha conducido a un autocrecimiento de aquellos campos que contaban con científicos más dinámicos y/o con mayor influencia en los círculos de poder de las instituciones de investigación. Este autocrecimiento, en condiciones de una tasa de desarrollo global de la investigación muy pequeña, se ha realizado en detrimento de otros campos, que por razones igualmente coyunturales no han llegado a cristalizar.

Procede señalar aún otros dos aspectos. Por un lado, la aparente disociación entre los departamentos básicos de las Facultades de Medicina y los Hospitales Clínicos: unos y otros presentan en general proyectos independientes (Tabla I); por el otro, el esfuerzo que está realizando el CSIC por coordinar sus investigaciones. Fruto de esta política ha sido la elaboración durante 1981 de una serie de programas de investigación que tratan, en una primera aproximación, de articular las investigaciones que se realizan en una serie de campos. Por su interés en el de la investigación biomédica cabe señalar cinco programas dentro del ámbito de las investigaciones básicas en biomedicina y seis programas que abordan los siguientes temas: «Programa interdisciplinario para el desarrollo de nuevas líneas de investigación en Inmunología y Quimioterapia», «Fisiopatología de las alteraciones endocrino-metabólicas y prevención de la subnormalidad», «Enfermedades del sistema nervioso: Bases neurológicas y su incidencia terapéutica», «Trombosis, arteriosclerosis e hipertensión, aspectos básicos y aplicaciones terapéuticas», «Inmunopatogenia de las enfermedades del colágeno de tipo reumatoide» y «Desarrollo y evaluación de terapéuticas anticancerosas».

El carácter multidisciplinario del CSIC ha propiciado también la elaboración y puesta en marcha de un programa conjunto y coordinado de investigación a nivel institucional sobre el síndrome tóxico.

¿Con cuánto se investiga?

Los presupuestos de las universidades y del CSIC contienen, paradójicamente, cantidades simbólicas para el desarrollo de proyectos de investigación. En consecuencia, facultades e institutos del Consejo tienen que acudir a las convocatorias de los entes financiadores en busca de fondos. En el caso de los centros de la Seguridad Social, buena parte de los fondos para compras de material fungible pueden ser canalizados por los presupuestos de los propios hospitales.

Las dos principales fuentes de financiación de la investigación biomédica en España son la Comisión Asesora y el Fondo de Investigaciones Sanitarias.

Desde 1964, en que se estableció el Fondo Nacional para el Desarrollo de la Investigación científica, la Comisión

	Nº Proyectos	Subvenciones
Bioquímica, Biofísica, Biología Molecular, Genética	36	23,1
Inmunología, Biología Celular, Cancerología	39	33,6
Microbiología y Parasitología	20	14,8
Farmacología y Terapéutica	88	65,8
Anatomía, Fisiología, Patología, Medicina Clínica	85	70,7
Pediatría, Nutrición	24	20,2
Cirugía, Cirugía Experimental	53	45,8
Medicina Preventiva y Comunitaria	21	20,7
Farmacia, Medicamentos	5	7,5
TOTAL	371	302,2

Tabla V. **Distribución por disciplinas de las subvenciones del fondo de investigaciones sanitarias (1981). (Millones de pesetas.)**

Asesora ha subvencionado unos 2 500 proyectos, de los que 600 corresponden a Ciencias de la Vida y Ciencias Médicas, lo que representa el 25 % (Tabla VII). Las subvenciones concedidas en 1980 para proyectos de investigación en Ciencias de la Vida y en Ciencias Médicas fue de unos 850 millones, de un total de 3 465 millones concedidos. Las Tablas I y IV muestran la distribución de estos fondos entre los centros de investigación y las diferentes disciplinas. En 1981 las concesiones fueron de 643 millones, de un total de 2 530 millones concedidos. Hay que señalar que las subvenciones de la Comisión Asesora son generalmente para proyectos de desarrollo en 3 años.

Como se ha señalado anteriormente, la Comisión Asesora no ha establecido hasta el momento ninguna clase de prioridades en sus convocatorias ni ha realizado acciones concretas, al menos, en el campo de la biomedicina. Respecto al mecanismo de selección de proyectos, sólo en 1981 ha comenzado a establecerse un sistema de evaluación basado en informes secretos de dos o más científicos y en su examen por una ponencia de expertos.

El Fondo de Investigaciones Sanitarias fue creado en 1980 dependiente del INSALUD y con un presupuesto en el que se integran las aportaciones de la industria farmacéutica por sus ventas a la Seguridad Social (descuento complementario). El presupuesto del FIS en 1981 fue de 1 350 millones de pesetas, de las que 302 millones se destinaron a subvencionar unos 370 proyectos de investigación, que suponen aproximadamente el 50 % de los presentados. El FIS podría suponer un buen instrumento para la potenciación de la investigación biomédica en España. Sin embargo, y hasta el momento, excepto en una elogiable política de becas de formación de investigadores, no ha elaborado ninguna directriz científica concreta. Por el contrario, las subvenciones a los proyectos están muy atomizadas y son poco realistas, al suponer que subvenciones concedidas por un año son el cauce para desarrollar proyectos de envergadura con un mínimo de continuidad. La propia compartimentalización de las convocatorias por disciplinas y la concesión de miniayudas casi siempre unipersonales supone por el momento la continuación de la política seguida anteriormente a la creación del FIS en la distribución de las ayudas con cargo al Descuento Complementario. Es preciso también que el FIS haga más públicas sus convocatorias, de forma que exista una real igualdad de oportunidades para todos los grupos de investigación y no sólo para los ligados más estrechamente con la Seguridad Social.

	Universidad	CSIC	INSALUD	JEN	Sector privado	Total
Ciencias de la Vida						
Bioquímica	312	67	15	2	14	410
Biología Animal	302	39			2	343
Microbiología	214	37	1	2	10	264
Biología Humana	157	16				173
Genética	117	26	5		2	150
Biología General	113	10			5	128
Fisiología Humana	87	19	2			108
Biología Celular	54	26	4		1	85
Biofísica	45	6	5	6		62
Biología Molecular	21	36				57
Inmunología	22	1	25			48
Antropología Física	23					23
Virología	7	12				19
Biomatemáticas	11		4			15
Radiobiología	4		1	3		8
Etología	3		1			4
TOTAL	1.492	295	63	13	34	1.897
%	78	15	3	< 1	2	
Ciencias Médicas						
Ciencias Clínicas	278	2	30		2	312
Farmacología	210	19	1		48	278
Patología	191	2	3			196
Ciencias Médicas	147	6	7		4	164
Medicina Interna	111	1	48			160
Cirugía	104		13		1	118
Psiquiatría	45		1			46
Ciencias Nutrición	29	9	2			40
Medicina del Trabajo	18			5		23
Farmacodinámica	20				2	22
Medicina Forense	19	1				20
Salud Pública	16	1			1	18
Toxicología	16				1	17
Medicina Preventiva	8			2		10
Epidemiología	3		1			4
TOTAL	1.215	41	106	7	59	1.428
%	85	3	7	< 1	4	

Tabla VI. **Distribución por disciplinas del personal científico en España.**

Por otra parte, tanto la Comisión Asesora como el FIS deberían consolidar sistemas de evaluación de proyectos, de arbitraje y de decisión públicos y transparentes, con una amplia participación de científicos como garantía de imparcialidad y objetividad.

Pero ¿son los fondos suficientes? Puede hacerse una estimación considerando que entre el FIS y la Comisión Asesora, el colectivo de investigadores en biomedicina dispone para la financiación de su trabajo experimental de unos 600 millones para un año. Considerando un colectivo de 1 500 investigadores activos como hemos indicado anteriormente, sale una media de unas 400 000 pesetas/investigador/año. Esta cantidad es a todas luces insuficiente, considerando que no sólo tiene que sufragarse la compra del material fungible, sino que también hay que hacer frente a los gastos de adquisición y mantenimiento del equipo instrumental. Un laboratorio normal de bioquímica precisa como mínimo, en la actualidad, un millón de pesetas/investigador/año.

La insuficiencia de la cantidad que se

¿Qué lugar ocupa España dentro del contexto europeo, en gastos de investigación científica?

Comisión Asesora			
Año	Total de Proyectos Subvencionados	Proyectos de Ciencias de la Vida y Ciencias Médicas subvencionados	FIS
1965-75	396	89	
1976	457	102	
1977	469	145	
1978	14		
1980	958	224	
1981	222	60	371
TOTAL	2.516	620	

Tabla VII. **Proyectos subvencionados por la comisión asesora y el fondo de investigaciones sanitarias.**

destina a investigación biomédica se hace todavía más dramática si se considera:

1. Que el potencial máximo del colectivo de investigadores es de 3 500 científicos según se señala anteriormente (Tabla VI), en vez de los 1 500 subvencionados actualmente.
2. Que la Comisión Asesora en 1980 rechazó 287 proyectos en el campo de las Ciencias de la Vida y Ciencias Médicas (el 56 % de los presentados). La tasa de rechazados por el FIS en 1981 también parece ser que rozó el 50 %. Es de suponer que un porcentaje de los proyectos rechazados se debiera a su baja calidad, pero también cabe suponer que algunos lo fueran por falta de fondos.
3. Que los 224 proyectos aprobados por la Comisión Asesora solicitaban 2 157 millones y, sin embargo, se aprobaron reduciéndose la subvención a unos 800 millones. Esto es, los proyectos aprobados recibieron, como media, el 37 % de lo solicitado. También el FIS recortó sistemáticamente las peticiones de los proyectos aprobados en 1981.

Unos y otros datos indican que incluso con el número actual de investigadores en el campo de la biomedicina el gasto es muy pequeño y totalmente insuficiente, tanto en términos absolutos como en relación al número de investigadores. No sin razón, España ocupa la cola de Europa en gastos de investigación científica tanto si se usan parámetros como el % de gastos en investigación referido al PIB, como el % de gasto por habitante. Los gastos de investigación en España en el sector público suponen, según los datos presupuestarios de 1981, un poco más de 1 200 pesetas por español al año, y la cuota para investigación biomédica unas 250 pesetas/ciudadano español/año.

... y lo que se gasta ¿se gasta bien?

Naturalmente, el análisis que estamos realizando necesitaría responder a esta quinta pregunta ¿cuál es la calidad y la relevancia de la investigación española en biomedicina?. La contestación a esta pregunta supera el marco de este artículo y requiere un detallado estudio posterior, que es preciso realizar si se quiere elaborar una política científica realista y seria a medio y largo plazo en nuestro país en el campo de la biomedicina.

Conclusiones

Me gustaría señalar que el problema actual de la investigación científica en España es un problema eminentemente político. Se trata de responder a la pregunta sobre cuál es el papel de la investigación y cuál es el papel que se quiere dar a la investigación, y esta pregunta sólo puede tener una contestación política. Porque es una decisión política el continuar con el binomio: dependencia-investigación marginal o, por el contrario, aceptar la investigación científica como una de las piezas necesarias para el desarrollo, el progreso y el bienestar. En este último caso, la investigación biomédica tiene que colocarse en la base del sistema que garantice la salud de todos los españoles tal como era definida al comienzo de este escrito.

Una vez que se tenga la voluntad política y los necesarios instrumentos de poder para el desarrollo de la investigación deberá elaborarse una política científica a corto, medio y largo plazo que tiene que corregir las graves distorsiones existentes en la actualidad y plantear acciones referentes a la organización, al personal científico y a la financiación de la investigación biomédica, en nuestro caso. Junto a estas acciones es necesario que se produzca un cambio en la mentalidad de nuestros investigadores, en el sentido de asumir más profundamente sus responsabilidades sociales.

Algunos de los temas que habrá que resolver a corto plazo son los referentes al necesario aumento del número de investigadores mediante la incorporación de la gran cantidad de científicos españoles que dentro y fuera de España está esperando alguna oportunidad para poder desarrollar su formación de investigadores. Es necesaria la formación de investigadores en aquellos campos que interese fomentar a medio plazo y garantizarles un puesto de trabajo. Es preciso cambiar la mentalidad de que la investigación biomédica es sólo cosa de médicos. Es preciso potenciar los centros de investigación actuales y crear otros nuevos, asociados con los Hospitales, facilitando la movilidad de los investigadores. Hay que superar las barreras entre las disciplinas básicas y clínicas en las facultades de Medicina mediante la creación de Institutos Universitarios de Investigación híbridos o mediante la puesta en marcha de Escuelas Graduadas de Investigación Biomédica, como medio de aumentar el ambiente científico, las interacciones científicas, la interdisciplinaridad, la masa crítica, la racionalización de los recursos y equipos, etc. Las escuelas graduadas podrían ser el eje de la investigación universitaria.

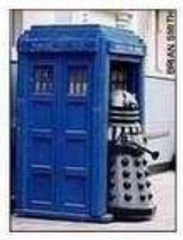
Por otra parte, es necesario coordinar la investigación biomédica española. Algunos países tienen organismos específicos al efecto: el MRC en Inglaterra, el INSERM en Francia, los NIH en Estados Unidos son algunos de ellos. Ésta es una posibilidad; podría pensarse en un Instituto Nacional de Investigaciones Biomédicas. En cualquier caso, es necesario arbitrar un nivel de planificación, de coordinación y de articulación de las medidas de política científica en el sector de la biomedicina.

En fin ¿propuestas para el futuro? Tenemos un ejemplo bien próximo. Francia está empeñada en una ambiciosa tarea de relanzamiento de la investigación. Ha asumido un compromiso al responder a la pregunta sobre ¿qué papel cabe a la investigación? Espero que pronto podamos nosotros también hacerlo y que sea con igual respuesta. ■

Agradecimientos:
Agradezco a los Dres. J.F. García de la Banda, F. Catalina y A. Sols las diferentes informaciones, necesarias para la elaboración de este trabajo.

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/

La astronomía maya

por Anthony F. Aveni

Anthony F. Aveni profesor de Astronomía y Antropología en la Universidad de Colgate (Hamilton, Nueva York) es un especialista en Arqueoastronomía y sus estudios versan esencialmente sobre antiguas civilizaciones americanas.

■ Estudiando a los eruditos del siglo XIX, los americanistas se inclinaron por los manuscritos y los vestigios de la civilización maya. Gracias a las Tablas de Venus, conservadas en Dresde, la astronomía es uno de los aspectos mejor conocidos de la cultura de los mayas.
■ De todos los planetas, Venus era el que captaba el interés de los astrónomos, y las ceremonias religiosas se programaban en función de sus apariciones.
■ La importancia de la astronomía y su peso en la sociedad maya se reflejan en su arquitectura. Algunas construcciones, como el Templo Mayor, eran a la vez templos y observatorios, construidos con una orientación determinada para observar la trayectoria de los astros.

■ Los mayas del Yucatán, dos siglos después de su descubrimiento por los europeos, continúan siendo una de las civilizaciones más misteriosas y enigmáticas del mundo. Sabemos que desarrollaron una escritura jeroglífica, hace más de 2 000 años, y un sistema matemático que incluía la numeración ordenada y el concepto del cero. Eminentes astrónomos conocían a la perfección los complejos movimientos de los cuerpos celestes. La exactitud de su calendario coordinaba multitud de ciclos celestes con temas que se repiten en la historia de la humanidad. Además de sus éxitos intelectuales, los mayas edificaron grandes centros ceremoniales, con arquitectura documental decorada con estelas grabadas y con exquisitos frescos. Conquistaron los abruptos alrededores de la selva tropical del Peten con la construcción de canales y caminos peraltados que enlazaban las ciudades sin vehículos rodados, sin animales de carga, sin metalurgia ni ninguno de los avances tecnológicos relacionados generalmente con las civilizaciones más desarrolladas. No conocemos las razones ni los medios de este desarrollo, tan diferente en algunos aspectos de las antiguas civilizaciones del Oriente Medio.

La civilización maya, de duración mayor que la del Imperio Romano, llegó a su apogeo poco antes de la conquista española y su fatal destrucción permanece inexplicable. Fue justo después de la revolución francesa cuando nació el interés por las culturas extranjeras (insólitas), y en especial por las poblaciones indígenas americanas, y cuando se empezaron a estudiar los restos de esta civilización cuya herencia cultural tanto hubo de sufrir con la llegada de los españoles. Las últimas investigaciones efectuadas sobre la astronomía maya y el nuevo campo interdisciplinario de la arqueoastronomía podrían ayudarnos a reunir algunas piezas del complicado rompecabezas de la historia maya. Este aspecto de la investigación me emociona y maravilla porque me ofrece la oportunidad de atisbar en el pensamiento de otro astrónomo, de otra época y de otra cultura.

Inicié mis estudios cuando se descubrió que los mayas orientaban algunos edificios sagrados según la dirección de ciertos acontecimientos astronómicos que observaban y que quedaron constatados en los manuscritos que sobrevivieron a la destrucción. Pero la búsqueda de estos edificios era una empresa difícil, puesto que se hallan en lugares agrestes del Yucatán. En general, se encuentran en mal estado y las anotaciones arqueológicas son difíciles de obtener. Ha sido trabajando en el seno de un equipo formado por arqueólogos, arquitectos e historiadores, como he podido dar con datos sobre astronomía, ya en textos escritos ya en restos arqueológicos.

El calendario maya

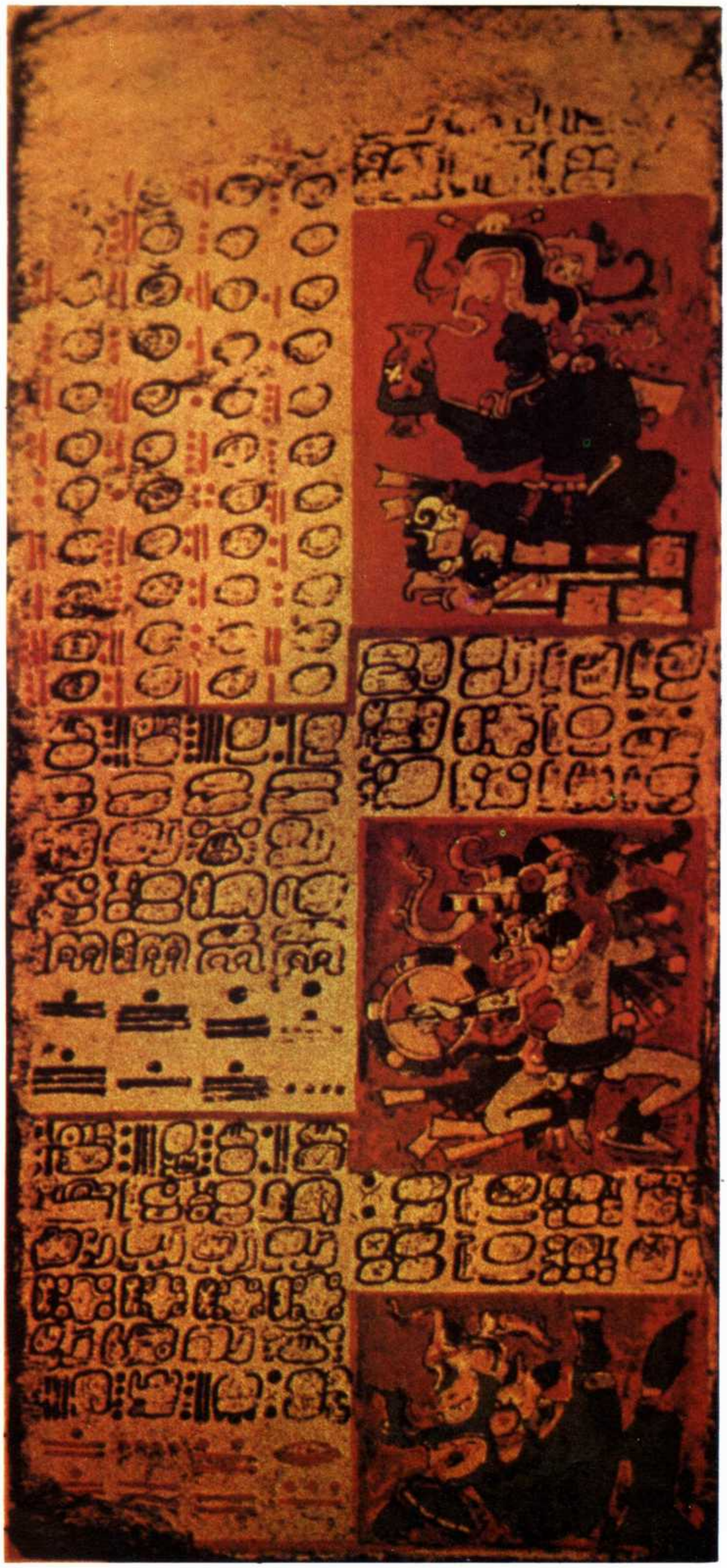
Si el siglo XIX fue el de las exploraciones, el XX es el del estudio de los datos recogidos en las exploraciones anteriores. Los epigrafistas Morley, Teeple y Forstlemann estudiaron las piedras o las cortezas de los árboles que tenían inscripciones, así como las minúsculas hojas manuscritas donde los jeroglíficos con forma humana y animal se unen con los símbolos matemáticos y las representaciones de las divinidades. Dado que la astronomía se caracteriza por ciclos periódicos y repetidos, no sorprende que la información astronómica contenida en estos textos fuese la primera en descubrirse.

Hacia 1930, los investigadores sabían que los sacerdotes-astrónomos mayas habían calculado con una precisión increíble las fases de la Luna y la duración del año. Una particular importancia parecía tener Venus puesto que la llamada *Tabla de Dresde,* uno de los tres o cuatro manuscritos mayas que pudo librarse de la quema en el siglo XVI, comprende las efemérides del planeta calculadas con una precisión de una hora para quinientos años. En otro apartado aparece el sistema de predicción de eclipses de Sol con una exactitud casi de día. Además, otro manuscrito, conservado en París, revela que los mayas habían cartografiado movimientos planetarios a partir de sus propias constelaciones zodiacales. Parece, pues, que los constructores de Tinkal y Palenque habían estado obsesionados por el dominio del tiempo. Su filosofía estaba sin duda basada en la numeración y totalmente orientada a establecer calendarios cíclicos que se prolongaban al infinito.

Hasta mediados del siglo XX no supimos cómo obtenían los mayas sus informaciones ni la función del calendario en su sociedad; pero, ante todo, nos faltaba valorar y comprender la ingeniosa y compleja historia de amor entre los mayas y el tiempo, y eso es lo que haremos con ayuda de la *Tabla de Venus,* manuscrito conservado en la biblioteca de Dresde (fig. 1).

Pensar en Venus, es imaginar el gemelo de la Tierra, otro mundo con las dimensiones terrestres, colocado en órbita alrededor del Sol. Al telescopio se nos ofrece un planeta cubierto de nubes blancas y, al igual que la Luna, visible periódicamente. Sabemos, gracias a las informaciones recogidas por las misiones espaciales y observaciones de radio y de radar, que su superficie está formada por montañas recortadas y valles envueltos por una atmósfera cien veces más densa que el aire, y que interminables lluvias de ácido sulfúrico se precipitan sobre un paisaje generalmente a oscuras. Pero mientras observemos el planeta a simple vista, como hacían los mayas, no veremos más que un punto luminoso bien al alba o durante el crepúsculo. Entre estos dos instantes, el planeta desaparece dos veces, disipándose en la luz solar. El ciclo completo se repite cada 584 días, o sea, un año Venus. En el panteón maya, Venus es un dios (Kukulcan) servidor del Sol, que se desplaza como si estuviera atado a este enorme cuerpo luminoso por una cadena extensible. Su trayectoria en el cielo es distinta de la de los otros planetas (exceptuando Mercurio, que difícilmente podemos observar, ya que está situado mucho más cerca del Sol que Venus).

Los mayas eligieron de los desplazamientos de Venus el aspecto temporal antes que el espacial: en el manuscrito de Dresde encontramos la mención de las cuatro posiciones del planeta que representan el periodo en que el planeta es la estrella de la mañana (250 días), su desaparición (90 días), su conversión en la estrella vespertina (256 días) y su nueva ocultación (8 días).



La anotación matemática maya, parecida a la utilizada por los aztecas (*La Recherche*, nº 126, 1981) utiliza un punto para el 1 y una barra para el 5 (fig. 2). Se trata de un sistema de numeración en base 20 que se lee de abajo a arriba en orden creciente, a diferencia de nuestro sistema en base 10, que leemos de derecha a izquierda. Así, la lectura de la primera parte de la Tabla se efectúa de la siguiente manera (fig. 1A): el número situado más a la izquierda es igual a 16 + 11 × 20, o sea, 236. Los otros tres números representan 90,250 y 8, este último indicado como ochos veces 1 más veinte veces 0 (el símbolo de la concha significa 0). La suma de estos números es igual a 584, equivalente a la duración del año en Venus. Esta indicación permitió a Ernst Förstemann, bibliotecario de Dresde, comprender que se trataba de un calendario o efemérides destinada a prever los pasos de Venus a través de las cuatro posiciones de su ciclo. Las otras páginas del manuscrito contienen informaciones suplementarias sobre el planeta: el número de años de Venus registrados en el manuscrito (fig. 1B), sus posiciones en el calendario ritual de 260 días, un cómputo de 13 nombres de días y de 20 cifras análogo a la asociación de los siete días de nuestra semana y números del 1 al 30 (fig. 1C). En otra página, las apariciones del planeta están consignadas en un gran calendario que representa la sucesión de los días después de la Creación, como el calendario juliano utilizado por los astrónomos modernos: es como si los mayas dijesen: «Venus hizo su aparición durante el ciclo A por el Este, antes del alba, el miércoles 8 del mes X del año Y de Nuestro Señor». Por lo que se refiere a la última parte del ma-

Figura 1. **La Tabla de Dresde es una efeméride que indica la fecha de aparición y desaparición de Venus en los diferentes calendarios utilizados por los mayas: el año solar de 365 días, el Calendario Ritual de 260 días y el Calendario Largo que cuenta los días desde la creación del mundo. Esta página de la Tabla está dividida en cuatro partes importantes: los cuatro intervalos de 250, 36, 90 y 8 días que corresponden a las fases de Venus** (A); **el número total de días del año de Venus (584 días)** (B); **la posición de Venus en el Calendario Ritual de 260 días, correspondiendo cada inscripción, un nombre de día y una cifra, al principio de una fase de Venus** (C); **las orientaciones asociadas a Venus, así como el símbolo del planeta, una flecha** (D).
La Tabla de Dresde es un documento de una gran precisión en el plano astronómico, pero que también era útil para la astrología maya. Es precisamente a ella que se remiten las 3 ilustraciones representativas del dios Venus y de los presagios que acompañan sus apariciones. (Foto A.F. Aveni, con la autorización de la American Philosophical Society de Philadelphia.)

Los mayas tenían un concepto ingenioso y complejo del tiempo.

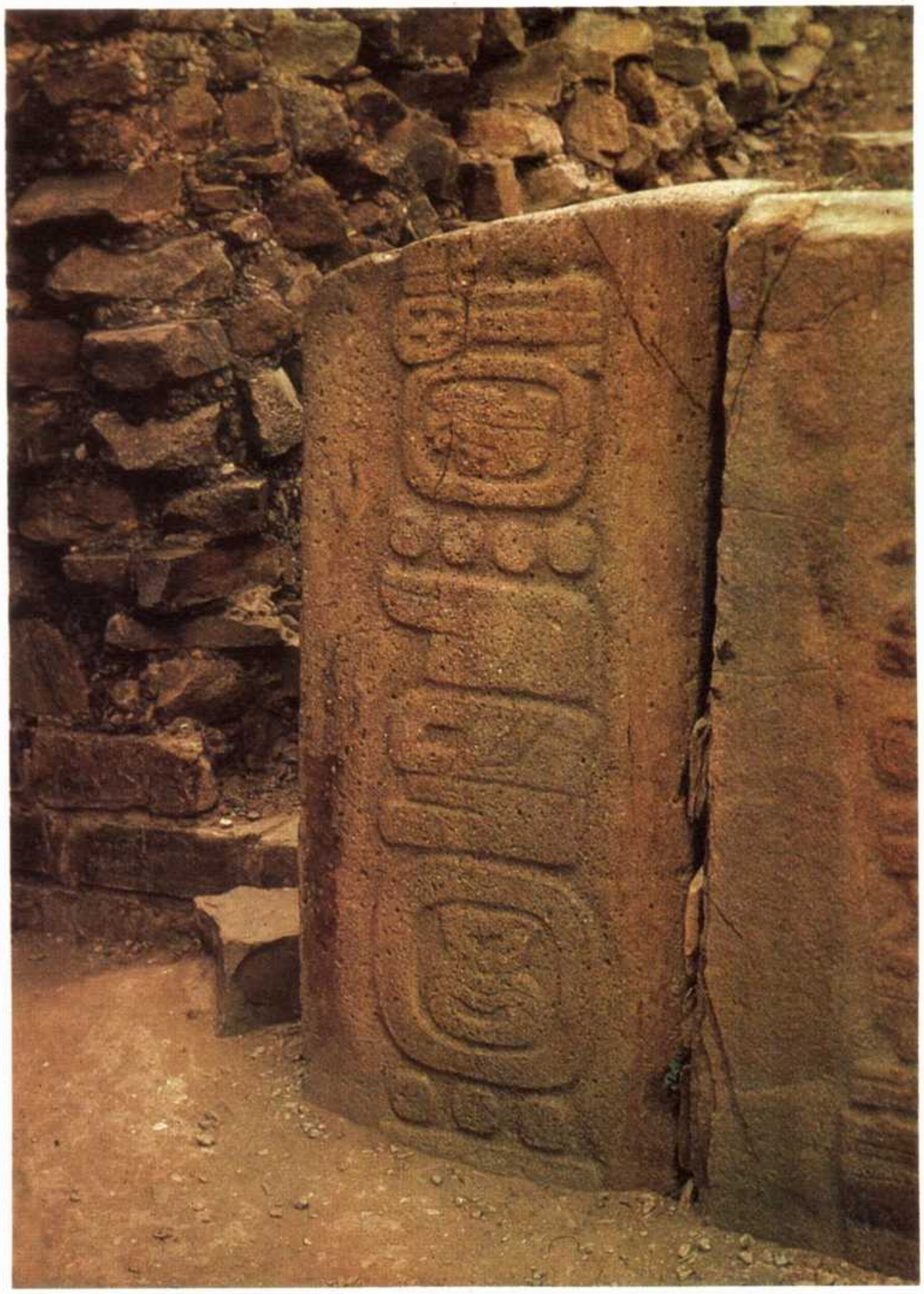


Figura 2. **El sistema de numeración maya, a base de puntos y barras, está representado en esta estela de Monte Albán (México) por dedos. Un punto, aquí la huella del dedo, equivale a 1. La barra, que representa los 5 dedos de la mano, está simbolizada por un dedo muy largo. Así, 4 puntos sobre 1 dedo equivalen a nueve. El sistema de numeración maya era de base 20. ¿Debemos concluir pues que esta estela que nos esclarece sus orígenes señala que los mayas utilizaban los dedos de las manos y de los pies para contar?** (Foto A.F. Aveni.)

nuscrito, parece que las indicaciones que nos da se asocian al orto de Venus y a sus posiciones en el cielo. Encontramos también representado el símbolo jeroglífico del planeta (la flecha), con la que damos de nuevo en otro contexto.

Cada una de las páginas de la Tabla comprende tres ilustraciones que siempre contienen el periodo de ocho días durante el cual el planeta desaparece. En el centro, se representan las diferentes posturas del dios Venus lanzando dardos, sus rayos deslumbrantes, en el momento de su primera aparición antes de la salida del Sol, y en la parte inferior, una víctima que ha sido atacada. Entre estas dos se anotan los augurios que siguen a la aparición de Venus: peligro de esterilidad en las mujeres, sequías espantosas o cosecha pobre de maíz. Por último, la ilustración superior representa la quema de incienso para pedir la protección del dios. Es única y exclusivamente una cuestión astrológica, pues para los mayas, como para nuestros antepasados, el calendario era un presagio, una máquina que predice el futuro. Observamos que los ritos y la religión de los sacerdotes-astrónomos mayas se convirtieron en un potente motor que impulsó a estos pueblos hacia las cumbres de la astronomía, perfeccionistas como eran por el deseo de seguir a Venus con una precisión infalible, y de enlazar su ciclo con la miríada de los movimientos cíclicos del reloj celeste.

Hacia 1930, algunos investigadores y entre ellos el químico J.E. Teeple descubrieron que la página 24 del manuscrito, que precedía a la Tabla (y que estaba mal colocada por accidente), era de hecho una tabla destinada a corregir las efemérides cada vez que se apartaban de las previsiones exactas. Estos calendarios eran necesarios para la organización de los festejos religiosos: los sacerdotes no sólo tenían necesidad de saber cuándo aparecía y desaparecía Venus, sino también, cuándo se tenían que conmemorar oficialmente estos acontecimientos. Pues, para los mayas, éstos eran necesariamente la misma cosa.

La religión limitaba las posibilidades de celebración durante algunos días del calendario ritual de 260 días y del calendario solar de 365 días; y es por esta razón que en nuestro calendario, la celebración de la Pascua tiene que conmemorarse en domingo, el primero después del plenilunio que sigue al equinoccio de primavera; recordemos que las fechas del domingo de Ramos y del Viernes Santo se fijan en función de la Pascua. La página 24 indica precisamente los pasos a seguir para fijar la fecha del acontecimiento, la de su celebración y otros datos indicando cuándo hay que quitar o añadir un día, de forma que aún después de siglos no se pierda ni un solo día en el cómputo.

Una sinfonía cósmica

La tabla de Venus tomada en su conjunto se convierte en una sinfonía cósmica cuyo principal instrumento es la trayectoria del planeta Venus, para la que los otros ciclos celestes constituyen el fundamento armónico. He aquí algunos pentagramas musicales de la partitura:

— La tabla tiene cinco páginas donde se encuentran los cinco ciclos de Venus, es decir 2 920 días, equivalentes a 8 años solares de 365 días. Esta conmensurabilidad de 8 a 5 significa que los mayas eran capaces de averiguar cualquier acontecimiento relacionado con Venus en el calendario solar, ocho años después.

— Las trece líneas horizontales de los nombres de los días litúrgicos del calendario ritual indican que hay que contar 13 veces 2 920 días, o sea un ciclo completo de 37 960 días. Cifra que corresponde a la vez a 146 × 260 días y 104 × 365 días y que permite la consulta

en los dos calendarios. La tabla presenta también, en la parte A, el ciclo de la Luna, con cuatro fases que no corresponden a las de Venus pero concuerdan con las lunares. Las cifras de 236 y 250 días dadas como los intervalos entre las cuatro posiciones de Venus corresponden, por ejemplo, a ocho meses y ocho meses y medio lunares, siendo 90 días una buena aproximación para 3 meses lunares. Recíprocamente, los ciclos y el símbolo de Venus se encuentran en la tabla de los eclipses lunares que sucede a la Tabla de Venus en el manuscrito de Dresde.

Tras la elección de estas cuatro fases de Venus, se vislumbra otro factor. Las fechas elegidas para celebrar la aparición de Venus debieron ser tomadas en un conjunto preciso de fechas del calendario ritual, las mismas que encontramos en el calendario lunar del manuscrito de París.

En 1977, la historiadora de la ciencia Sharon Gibbs demostró que sus fechas estaban elegidas para poder aproximar lo más posible la celebración de la última aparición y desaparición de Venus, para que no coincidiese con una ausencia del planeta. Parecía extraño que los mayas hubiesen modificado deliberadamente estos periodos con la única finalidad de fijar las celebraciones en la fecha litúrgica apropiada e incorporar un ciclo lunar. ¿Por qué no inscribir, única y exclusivamente, las fechas de aparición y desaparición? No olvidemos que se trata de una cultura distinta de la nuestra y que no podemos suponer que los mayas hayan actuado justamente como nosotros. Las profundas razones de elaboración de su compleja astrología/astronomía inducen a pensar que ellos estaban seguros de hacer otra cosa.

— El ciclo más largo del calendario maya se encuentra igualmente en la Tabla. El Calendario Largo, mencionado anteriormente, cuenta los días después de la creación, fijado alrededor del 13 de agosto del año 3113 a. C. Esta fecha se encuentra registrada en la página 24 de la Tabla y la transcribimos de la siguiente manera: 9.9.16.0.0., es decir, 1 366 560 días después de la creación, que se obtiene por la suma de:

$0 \times 1 = 0$
$0 \times 20 = 0$
$16 \times 360 = 5\,670$ ($20^2 = 400$ ha sido ajustado a 360 días por aproximarse al año solar)
$9 \times 7\,200 = 64\,800$
$9 \times 14\,400 = 1\,296\,000$
Total = 1 366 560

En 1976, Floyd Lounsbury, de la Universidad de Yale, descubrió que este número era divisible por varios ciclos mayas:

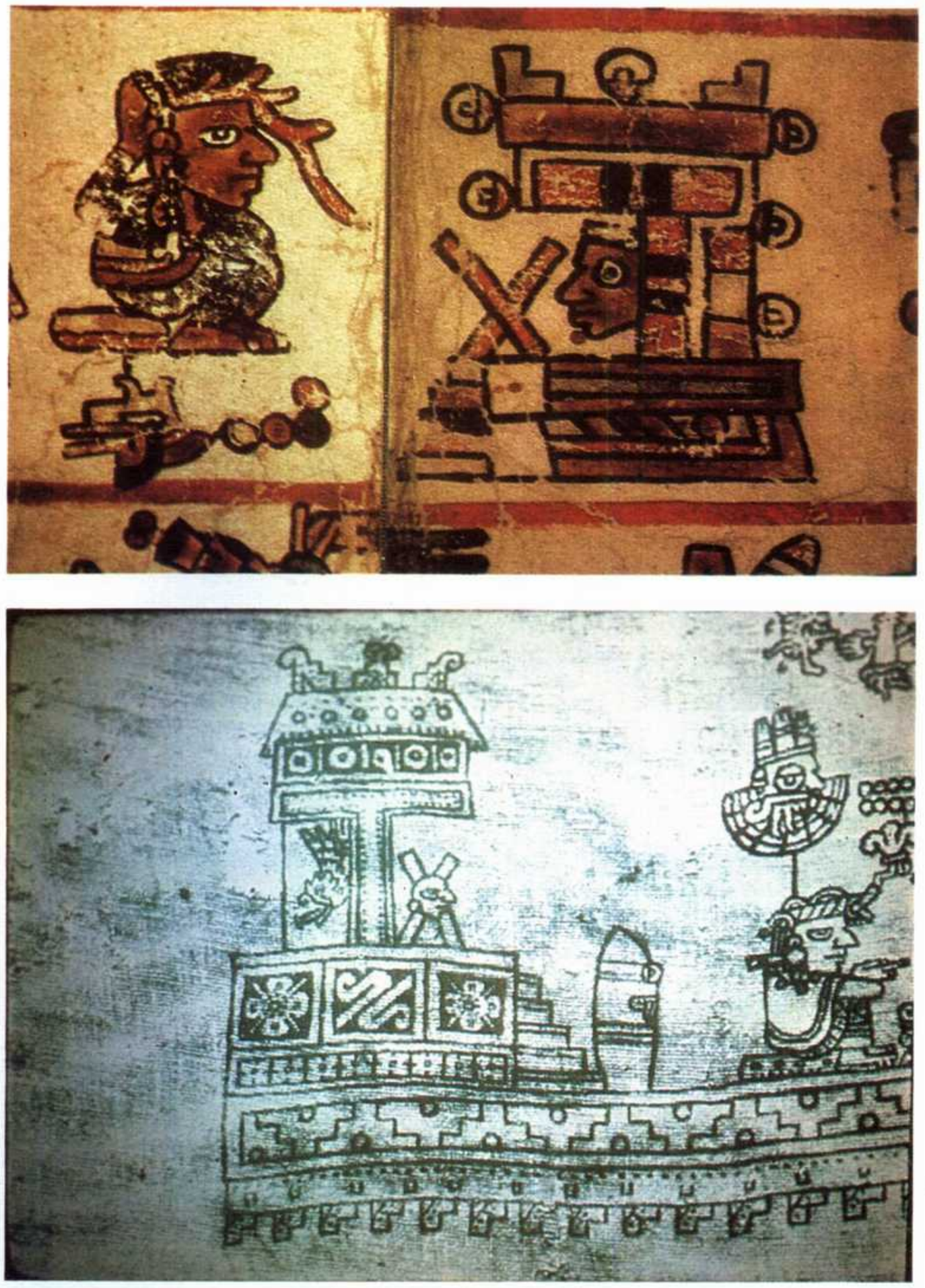


Figura 3. **Los mayas observaban los cuerpos celestes por medio de bastones de mira emplazados en los marcos de las puertas, de forma que el horizonte fuera siempre visible. A partir de los códices mesoamericanos** (A y B) **es posible determinar una fecha solar a partir del intervalo entre los diferentes pasos del Sol. Su trayectoria es observada con la ayuda de bastones con ranuras colocados en los marcos de la puerta. La arquitectura y la astronomía se encuentran estrechamente ligadas, y la primera, atendiendo a la orientación de los edificios, suministra valiosos informes a la segunda.** (Foto A.F. Aveni.)

1 366 560 = 5 256 × el ciclo ritual, o sea, 260 días.
1 752 × el triple del ciclo sagrado igual al año de Marte, es decir, 780 días.
3 744 × el año solar, o sea, 365 días.
9 × 260 × el año de Venus, o sea, 584 días.
468 × 5 años de Venus, o sea, 2 920 días.
72 × el ciclo de 52 años, mínimo común múltiplo entre los ciclos 260 y 365 días, es decir, 18 980 días.
36 × la duración cubierta por la Tabla de Venus, o sea, 37 960 días. Además, 9.9.16.0.0. se descompone en un número relativamente grande de factores primos; Lounsbury lo llama el «número supremo» de los códices.

Todo esto no representa más que una pequeña parte de los descubrimientos llevados a cabo a lo largo de este siglo a partir del estudio de la Tabla de Venus. Éstos permiten discernir la concepción ingeniosa y compleja que los mayas tenían del tiempo, aunque no comprendamos aún su organización. Después de haber presentado el reloj maya y haber abierto su caja, su mecanismo queda aún en gran parte en la sombra.

Algunos edificios tenían por misión registrar los ciclos astronómicos más importantes.

La astrología religiosa es su resorte, pero ¿cómo fue construido? ¿Cómo reunieron los mayas los datos necesarios para la fabricación de un instrumento tan refinado? En otros términos ¿cómo observaban el cielo para obtener sus informaciones? Esto lo estudia la arqueoastronomía, uno de los ejes más apasionantes de la investigación sobre los mayas.

Orientación de los edificios y calendario

Como astrónomo fui atraído por el problema que presentan los métodos de observación en las culturas mesoamericanas, y dos tipos de información han demostrado que la arquitectura representaba un papel importante.

Fray Toribio Motolinia, historiador español del siglo XVI, evoca la construcción del Templo Mayor, la principal construcción del imperio azteca de Tenochtitlán y hace notar que una importante fiesta «tuvo lugar, cuando en el equinoccio, el Sol estaba en la vertical del centro de Huicholobos (su templo) y debido a que el edificio no estaba exactamente en la vertical, Moctezuma quiso que se demoliese para orientarlo correctamente».(1) Verificamos esta información fijándonos en la orientación del último muro aún conservado. Utilizando nuestro método habitual para obtener una orientación, hemos medido el acimut del muro con la ayuda de un teodolito. Luego utilizamos esta medida para determinar el acimut del eje del edificio. Con la orientación obtenida, nos faltaba encontrar una alineación astronómica con la que compararla, y de esta forma retroceder 500 años, época de la construcción del edificio. Esta correción era necesaria, puesto que la

Figura 4. **El palacio del gobernador** (A) **construido hacia el año 800 de nuestra era en Uxmal (Yucatán) posee una orientación diferente de la de los edificios que le rodean. Fue elegido de manera que coincidiera la puerta central del edificio con la posición más meridional de la salida de Venus. Posición materializada por la pirámide de Nohpat** (B), **que se vislumbra efectivamente desde el marco de la puerta y cuya fachada fue orientada perpendicularmente a la alineación establecida por medio de antorchas desde el palacio del gobernador.** (Foto A.F. Aveni.)

dirección de las efemérides astronómicas en el cielo depende de la precisión de los equinoccios. Una vez efectuada la corrección, descubrimos que el edificio estaba orientado según el orto del Sol un día de equinoccio (es decir, hacia el Este) tal como el antiguo cronista había descrito. Así tuvimos la prueba de que el Templo Mayor fue en cierta manera un antiguo observatorio solar.

A finales del siglo pasado, la antropóloga Zelia Nuttall había recopilado un conjunto de representaciones sacadas del códice; fueron estudiadas otra vez por el historiador de arte M.E. Smith, quien las interpreta como representaciones de astrónomos adheridas al marco de las puertas de los templos, y observando objetos en el horizonte mediante un instrumento en forma de V (fig. 3). Yo he utilizado estas figuras para explicar las extrañas orientaciones de algunos edificios mesoamericanos. Estas construcciones tenían seguramente la misión de registrar, cual almanaques de piedra, los ciclos astronómicos más importantes, indicados por el paso del cuerpo celeste por el marco de

la puerta. De esta explicación, los dos mejores ejemplos fueron descubiertos sobre el terreno a lo largo de mi trabajo en compañía del arquitecto Horst Hartung y de Sharon Gibbs, y los dos concuerdan con el calendario de Venus.

El palacio del gobernador en Uxmal, al norte del Yucatán, fechado entre los años 700-900 d. C., presenta una desviación de 20° en comparación con la alineación general de los otros edificios. Además, está construido sobre una gran colina artificial, orientada de la misma manera. Desde la habitación oscura situada en el centro del edificio se puede ver justo en el eje de la puerta una colina artificial de 25 m de altura, perfilándose en un paisaje llano a 6 km (fig. 4); Hartung y yo la identificamos como la pirámide principal de Nohpat, explorada por John Lloyd Stephens en los años 30. Ansiosos por explicar esta orientación particular, buscamos las efemérides astronómicas más importantes visibles desde el palacio del gobernador en la época de su construcción.

No siendo las cartas geográficas lo suficientemente precisas, tomamos un croquis exacto del edificio. Utilizando la misma técnica que antes, medimos el acimut del eje que pasa entre la puerta del palacio y la colina de Nohpat. Nuestros cálculos han revelado que el eje entre el observador y la pirámide no estaba ligado con la salida ni con la puesta del Sol ni de la Luna, pero sí con las de Venus.

Hacia el año 800 de nuestra era, Venus había alcanzado un orto en extremo austral, en una dirección que corresponde a la alineación de algunos yacimientos próximos en algunos minutos de arco. Además, el planeta sale exactamente en esta dirección cada ocho años, o sea, 2 920 días, periodo que los mayas han consignado en la Tabla de Dresde. Otros datos corroboran esta idea, entre otros un artículo olvidado del historiador de arte alemán Eduard Seler, quien en 1904 estudió el friso en estuco del edificio y descubrió numerosos símbolos de Venus. Pero, ofuscados por nuestros cálculos y nuestras anotaciones, no prestamos la suficiente atención a la iconografía. Después de otra visita al lugar, en 1978, contamos y fotografiamos alrededor de 300 símbolos de Venus en el edificio, de los cuales uno es la reproducción exacta del símbolo que figura en la Tabla de Venus citada anteriormente. Encontramos a menudo la cifra 8 grabada sobre una estela, con la imagen de Chac, el dios maya de la lluvia, descubierta en el ángulo noreste del edificio. Esta cifra se refiere probablemente al ciclo de 8 años de Venus o a su desaparición durante ocho días, o quizás a las dos observaciones simultáneamente. En los Anales de Quahtitlán de México Central, se cita que Quetzalcoatl se transformó en estrella de Venus al amanecer: decían que cuando murió permaneció invisible cuatro días; y que después de ir errante cuatro días más se convirtió en esqueleto. No habían transcurrido aún ocho días cuando la gran estrella volvió a aparecer. Decían entonces que Quetzalcoatl estaba sentado en su trono divino. Igualmente, poseemos informaciones etnohistóricas relacionadas con la desaparición de Venus durante 8 días. Después de ocho días Venus vuelve a aparecer por el Este, y un observador puede de nuevo verlo en su orto en la alineación de la puerta. En la medida don-

Figura 5. **La torre redonda de Chichen Itza (Yucatán), el Caracol, fue construida hace unos mil años para perpetuar ciertos hechos astronómicos que permitían confeccionar los calendarios. El eje de la plataforma interior del edificio y las diagonales de las ventanas fueron alineados con las posiciones extremas de Venus.** (Foto A.F. Aveni.)

Los descendientes de los mayas poseen aún las mismas costumbres por lo que respecta al calendario.

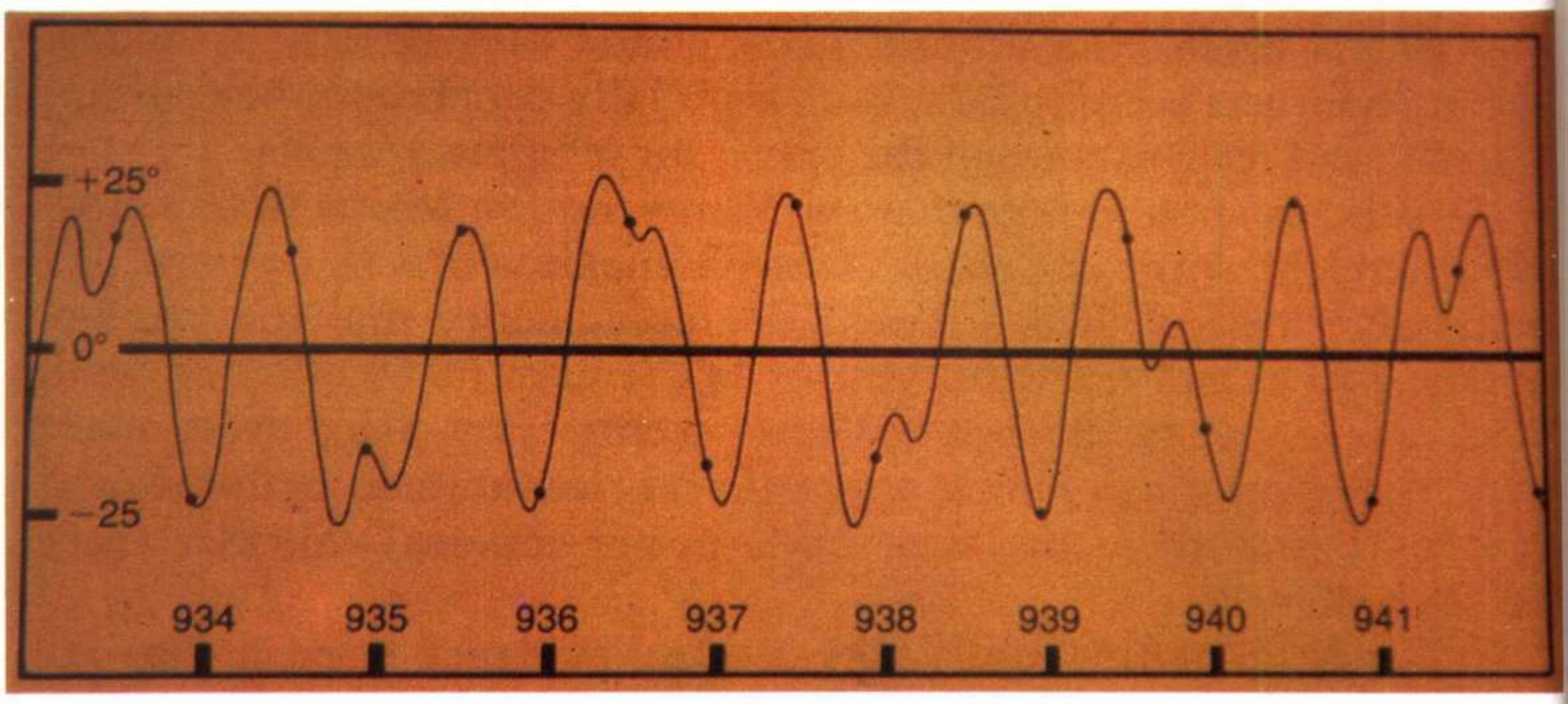


Figura 6. **Las oscilaciones de Venus en el tiempo respecto al horizonte (línea horizontal a 0°) han sido representadas en esta gráfica para los años 933 y 942 de nuestra era, es decir el periodo maya clásico. Los puntos situados sobre la curva representan las oscilaciones del Sol y permiten constatar que las de Venus están bastante próximas. La diferencia tiene una amplitud a veces más grande y una periodicidad de ocho años en las oscilaciones de Venus. Esta periodicidad aparece claramente cuando se compara las porciones de las curvas para los años 933 y 941.** (Gráfica P. Dunham.)

de la unidad de tiempo más importante en el calendario maya era posiblemente el día (kin) y no el año (haab), creemos que el 8 que figura en la máscara del dios Chac se refiere con toda seguridad a esta importante ausencia que precede a los augurios.

¿Pero cómo establecieron los mayas la relación entre Venus y las construcciones de Nohpat-Uxmal? No disponemos de planos arquitectónicos ni de libros al respecto, pero Hartung y yo supimos que la situación de la pirámide «satélite» de Nohpat fue determinada por la observación de Venus a partir de un punto elegido anteriormente en el hueco de la puerta del palacio del gobernador. Cuando Venus salía más al Sur se trazó con antorchas encendidas, por ejemplo, una línea hasta Nohpat. Luego, una perpendicular a este eje, realizado probablemente con piquetes y cuerdas, dio la orientación de la fachada del palacio, fijando una paralela a ésta el emplazamiento del muro posterior. Nuestros descubrimientos confirman el paralelismo de estos dos muros que no se desvían más de 15' de arco, mientras que los muros laterales estaban peor orientados. El edificio tenía de esta manera una estructura rectangular.

Encontramos otro edificio en Chichen Itza (fig. 5) que confirma esta relación con el ciclo de Venus. Se trata de una torre redonda con abertura, llamada Caracol. Su nombre se deriva del acceso en espiral a la torre, pues evoca la concha de un caracol. Como el palacio del gobernador, es destacable por ciertas asimetrías: prácticamente no posee ángulos rectos. Hasta tal punto, que el arqueólogo J.E.S. Thompson, desconcertado, declaraba hace treinta años que los arquitectos debían ¡tener muy mal gusto para construir una cosa semejante! Las ventanas o tal vez los conductos horizontales realizados en la pared de la torre «fueron llevados a cabo seguramente para poder observar a través de ellos» según las opiniones del equipo de arqueólogos del Instituto Carnegie de Washington que lo excavaron en los años treinta. Nosotros encontramos dos orientaciones para estas aberturas, de las que una, en la base del edificio, se alineaba con el eje formado por las posiciones extremas del ocaso de Venus al Norte y al Sur en el siglo x de nuestra era (fig. 6). Las alineaciones son menos precisas que las del palacio del gobernador puesto que tienen errores de medio grado de media, pero aun así constituyen la mejor aproximación que hemos encontrado del ocaso de un cuerpo celeste con una alineación de estructuras. Además sabemos que esas torres redondas estaban dedicadas a menudo a Ehecati, el dios del Viento, otra manifestación de Venus-Quetzalcoatl-Kukulcán.

Ambos ejemplos, el del palacio del gobernador y el del Caracol, demuestran que la arquitectura era el órgano de medida y registro permanente de las observaciones astronómicas. Más recientemente, Hartung y yo hemos notado que la arquitectura exigía también un conocimiento de geometría. No conocemos ningún dibujo de geometría en pergamino o cualquier otro material, pero tomando Caracol por centro, descubrimos que un arco de círculo de un radian contiene exactamente el centro geométrico de varias estructuras.

La arqueoastronomía y el futuro de las investigaciones sobre la astronomía maya

Durante los años sesenta y motivado por la controversia sobre Stonehenge, en que se puso de manifiesto por primera vez el papel de la arquitectura y las alineaciones arqueológicas en astronomía y cálculo del tiempo, durante los años setenta adquirió gran impulso la arqueoastronomía. Pero es la naturaleza interdisciplinaria de esta investigación la que ha hecho resurgirla entre los americanistas.

Los astrónomos norteamericanos Ray Williamson, Von del Chamberlain y Jack Eddy han emprendido investigaciones similares a las nuestras con motivo del estudio de la astronomía y el calendario de los indios de América del Norte. En México, el geógrafo alemán Franz Tichy ha descubierto que las construcciones de las iglesias del periodo colonial toman a menudo la orientación de las ruinas indias. ¿Es por razones prácticas o por respeto a una tradición muy arraigada? En Francia, la antropóloga Annie Lebeuf y los astrónomos J.P. Brunet y R. Nadal han trabajado en la orientación de la catedral de Saint-Ligies. En Inglaterra son el arqueólogo Aubrey Burl y el astrónomo Clive Ruggles los que han iniciado las investigaciones sobre los calendarios antiguos y mejorado los estudios sobre la orientación de los lugares mega-

líticos. Aún no sabemos si los enormes círculos de piedras eran calendarios precisos con algunas alineaciones con el Sol y la Luna, lo suficientemente elaboradas para predecir los eclipses. Es una pena que estos estudios aún no se hayan extendido a las estructuras de la Edad Media del resto de Europa, puesto que tendrían seguramente algo en común con las de las Islas Británicas.

El ejemplo que acabamos de ofrecer muestra que para verificar las hipótesis emitidas con respecto a la astronomía maya disponemos de inscripciones, de crónicas posteriores a la conquista y también de estudios etnológicos sobre los descendientes de los mayas, de los cuales algunos tienen las mismas costumbres con respecto al calendario. Lounsbury, que trabajaba en las relaciones entre los ciclos de los códices, ha dirigido su interés a las inscripciones grabadas en la piedra. En Palenque, descubrió que la fecha inicial del templo de la Cruz está relacionado directamente con una fecha muy importante en la historia de Palenque, el nacimiento de Shield Pacal, el gran alcalde de la ciudad. La relación entre las dos fechas está compuesta por un grupo de factores primos análogo a la que nosotros descubrimos en el códice de Dresde $(2^2 \times 3^2 \times 5 \times 7 \times 13 \times 83 = 1\,366\,560$ días.

Esta relación establecida deliberadamente permite conectar tiempos históricos y tiempos astronómicos, puesto que se trata del múltiplo de varios ciclos celestes. Los resultados de las «Mesas redondas de Palenque», serie de reuniones interdisciplinarias que permiten adelantar la hipótesis de que todas las fechas grabadas sobre las estelas mayas son fechas históricas. Hasta 1950, estas fechas no habían sido estudiadas más que desde un punto de vista astronómico. Combinando las aportaciones de las distintas disciplinas, reencontramos la concepción de la investigación valorada por los naturalistas del siglo XIX y, sobre todo, atestiguamos la fusión de dos aproximaciones, la astronomía y la historia. Esta aproximación pluralista permite a todos los que se interesan por la astronomía antigua comprender no sólo la naturaleza de la información astronómica en las sociedades antiguas sino también por qué y cómo ha sido reunida. ■

Para más información:

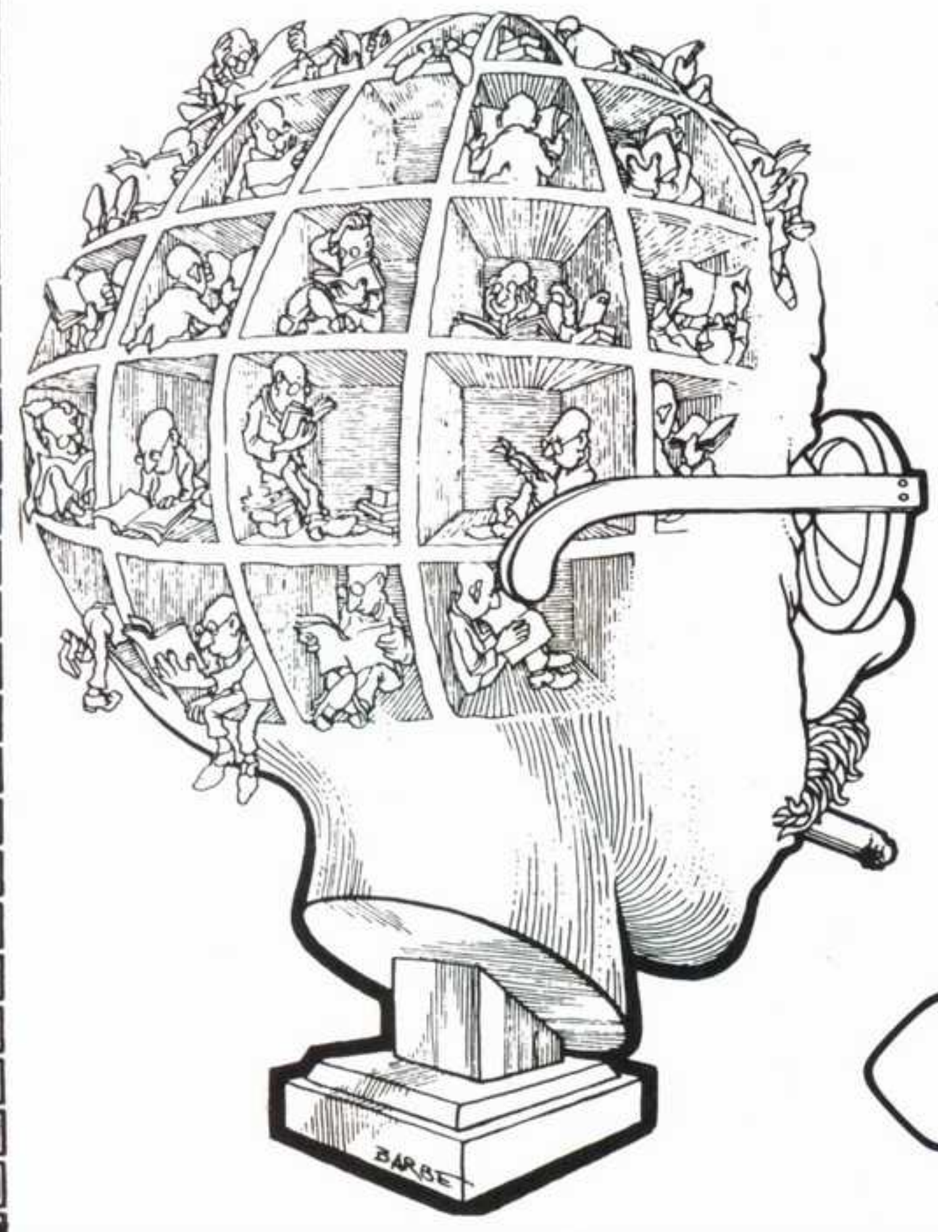
■ A.F. Aveni, *Skywatchers of ancient México.* University of Texas Press-Austin and London, 1980.
El último manual que ofrece una visión detallada del conjunto de prácticas astronómicas de los pueblos de la América precolombina, los aztecas, los mayas de México, los incas del Perú y los indios de América del Norte.

■ M. León-Portilla, *Time and relity in the thought of the Maya,* Beacon Press, Boston, Tiempo y realidad en el pensamiento Maya, 1968, Inst. de Investigaciones históricas, Univ. Nacional Autónoma de México, 1973. Un libro excelente y asequible, que debate la filosofía del tiempo en la cultura maya.

■ J.E.S. Thompson, *Maya history and religion,* University of Oklahoma Press, Norman, 1970. La «Biblia» de la investigación sobre los mayas. Un manual que trata todos los aspectos de la sociedad maya, desde el calendario a la agricultura pasando por la arquitectura.

■ E.C. Krupp, *In search of ancient astronomies,* McGraw Hill, 1978. Empezando con una introducción resumida sobre el cielo y los movimientos de los planetas, este libro trata en cada capítulo de la contribución a la astronomía de ciertas civilizaciones antiguas: egipcias, babilónicas, mexicanas y megalíticas de Inglaterra.

■ D. Chamay, *Les anciennes villes du Noveau Monde,* 1887.
Un diario de viaje del explorador francés, que permite conocer a través de textos y fotos una imagen de la América aborigen en el siglo XIX.



SUSCRIBASE a

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano*

Rellene y envíenos su cupón

página 810

Se avecina una catástrofe ecológica: la extinción masiva de la mayoría de las aves y grandes mamíferos.

La extinción de las especies, hoy

A

■ Desde los años 60 han ido surgiendo por doquier voces que nos advierten de la catástrofe ecológica que, si todo sigue así, dentro de poco acechará a nuestro planeta: agotamiento de los minerales y fuentes de energía, irremediable contaminación de la atmósfera, de los mares y continentes; superpoblación, etc.

Recientemente, han aparecido dos libros, *Extinction* de P. y A. Ehrlich y *Conservation and evolution* de O. H. Frankel y M. E. Soulé, que nos previenen sobre una catástrofe ecológica en ciernes, por lo general desconocida hasta ahora:[1,2] la extinción masiva de la mayoría de las aves y grandes mamíferos a causa de la actividad humana. Según O. H. Frankel y M. E. Soulé, en toda la historia de la biosfera, esta extinción sólo sería comparable a la de los dinosaurios al final de la Era Secundaria y a la de los invertebrados al final de la Era Primaria. Es evidente que una extinción de estas características comportaría reacciones en cadena en toda la biosfera, que afectarían inevitablemente a las condiciones de supervivencia de la especie humana. Y no es cuestión de desinteresarse de esta amenaza so pretexto de que no tendrá lugar hasta dentro de varios milenios. En última instancia, las condiciones de esta extinción masiva se fraguarán en los próximos veinte años.

Caza y deforestación desenfrenadas

El hombre es un temible cazador. Paul y Anne Ehrlich nos recuerdan que, desde su aparición sobre la Tierra, el hombre podría haber sido el responsable de la extinción de especies como el mamut o el rinoceronte lanudo. En cambio, no hay ninguna duda de que, más recientemente, la actividad humana ha ocasionado la exterminación de varias especies: la paloma mensajera de América del Norte, *Ectopistes migratorius,* que en el siglo XIX contaba con poblaciones de millones de individuos, fue eliminada de la faz de la Tierra por una caza sin mesura (el último individuo de esta especie murió en el zoo de Cincinatti en 1914). Una ave parecida al pavo, el dodó, *Raphus cucullatus,* fue exterminada en el siglo XVII: esta ave vivía en la Isla Mauricio y carecía de alas funcionales por lo que era presa fácil de los navegantes que fondeaba en esta isla (parece ser que el último dodó murió en 1681). Se cree que desde 1600, el número de especies de mamíferos extinguidas sólo a consecuencia de la actividad humana se eleva a 120, y el de aves a 150. Sin embargo, es en el siglo XX cuando se ha intensificado la destrucción de aves y de grandes mamíferos. Ciertamente, la caza, sea con fines deportivos sea con fines alimentarios, ha contribuido a esta intensificación. Pero lo más importante ha sido la explotación irracional de especies animales con fines comerciales. Éste es el caso, como recuerdan Paul y Anne Ehrlich, de la caza de la ballena, de los animales de los que se obtienen pieles de abrigo, del elefante, del rinoceronte, de los monos, etc. y no se trata, a veces, de explotación irracional, sino pura y simplemente de tráfico y especulación (como es el caso del marfil, por ejemplo). Actualmente, de las 2 000 especies de mamíferos censadas, habrá unas 275 en peligro de extinción. Y en el último decenio del siglo XX, esta cifra probablemente alcanzará el millar.

Pero, sin duda, la mayor amenaza, la que condiciona en el futuro la extinción de la mayoría de las aves y de los grandes mamíferos, procede de otro factor: la deforestación tropical. Los bosques tropicales no ocupan más que el 6 % de la superficie continental, pero constituyen la reserva biológica más rica del

(1) P. y A. Ehrlich, *Extinction: The causes and consequence of the disappearance of species,* Random House 1981.
(2) O.H. Frankel y M.E. Soulé, *Conservation and evolution,* Cambridge University Press, 1981.
(3) N. Myers, *The sinking arch,* Pergamon Press, 1979.

B

La próxima extinción de los grandes mamíferos deriva de múltiples causas. En el caso de las grandes fieras, su caza está motivada a la vez por razones de protección del ganado (o incluso del hombre) y comerciales: su piel es muy codiciada. Éste es el caso de *Panthera uncia* o leopardo de las nieves, de Asia (A). **Además, el tigre, el león, la pantera y el guepardo también están amenazados por la deforestación debido a la actividad humana. En el caso de los primates, los peligros de extinción provienen en primera instancia de su caza por motivos comerciales: los monos son muy buscados como animales de laboratorio para la industria farmacéutica y la investigación científica. El gorila** (B), **por ejemplo, ha sido tomado como animal modelo para el estudio de la fertilidad en el Centro internacional de investigaciones médicas de Franceville (Gabón). (¿No habría sido mejor el conejo?) Pero lo que, en un futuro cercano, amenaza aun más a los primates, es la deforestación tropical: la mayoría de las especies son arboricolas y viven entre los trópicos. Dado que, probablemente, a principios del siglo XXI el bosque tropical habrá desaparecido, la inmensa mayoría de especies de primates está condenada a la extinción.** (Foto Jacana.)

planeta: se calcula que en ella viven la mitad del total de especies que actualmente pueblan la Tierra. Ahora bien, los bosques tropicales se están destruyendo a una velocidad creciente. En 1979 se calculó que cada minuto desaparecían de la superficie del globo 47 hectáreas de bosque tropical.(3) A este ritmo, en 25 ó 50 años no quedará ningún bosque tropical primario. Una de las causas es que los árboles de los trópicos son cada vez más buscados como madera para ebanistería o para la construcción. Pero, según P. y A. Ehrlich,(4) la causa más importante de la deforestación es la conversión del bosque virgen en tierras de pastoreo para el ganado, como ocurre sobre todo en el Amazonas y en América Central. De 1966 a 1978, por ejemplo, más de 70 000 km² de bosque del Amazonas fueron convertidos en tierra de pastoreo para 336 ranchos dedicados a la explotación de 6 000 000 de bueyes. En América Central, entre 1950 y 1975, la superficie de pastoreo se ha duplicado, preferentemente a expensas de la jungla. Dicho sea de paso, no hay que creer que esta deforestación es la consecuencia lógica de un desarrollo económico imprescindible por el crecimiento de la población de estos países: como subrayan Anne y Paul Ehrlich,(5) las manadas de bueyes sirven básicamente para proporcionar carne a las cadenas de restaurantes «fast-foods» de Estados Unidos. Y, aunque en los últimos veinte años se ha destruido más de la cuarta parte de los bosques de América Central para producir carne de buey,

(4) P. y A. Ehrlich, op. cit., p. 163.
(5) P. y A. Ehrlich, op. cit., p. 164.

Urgente: crear y mantener reservas con un nuevo enfoque.

el consumo de carne por habitante en América Central no ha cesado de bajar.

Perturbaciones en cadena

La extinción masiva de los grandes mamíferos y de las aves sólo puede acarrear consecuencias catastróficas para la biosfera. En efecto, las especies animales y vegetales están estrechamente interrelacionadas en el seno de los ecosistemas y cada una de ellas tiene un lugar en el «equilibrio» de la Naturaleza». Incluso la eliminación de una sola especie conlleva por lo general reacciones concatenadas en el ecosistema. Hace algunos años, en Borneo, la OMS quiso acabar con los mosquitos y las moscas domésticas utilizando el DDT. Pero, junto con los mosquitos, desapareció una determinada especie de avispa, y con ello aumentó enormemente el número de una especie concreta de oruga, presa habitual de la avispa eliminada. Las orugas atacaron con más fuerza que nunca las techumbres de paja de las viviendas, que fueron hundiéndose una tras otra. Por su parte, la lucha contra las moscas ocasionó el envenenamiento de su predador, la salamanquesa (reptil parecido al lagarto), lo que a su vez comportó la desaparición del predador de ésta, el gato doméstico. La eliminación de este último favoreció la abundancia de las ratas, con lo que se produjo ¡una especie de peste! Otras perturbaciones parecidas, producidas en cadena dentro de los ecosistemas, se han verificado muchas veces en el curso de «experimentos» involuntarios y desafortunados realizados, por ejemplo, por agricultores, ganaderos, etc. (en su libro, P. y A. Ehrlich dan muchos más ejemplos). Esto nos da una pequeña idea de lo que puede ocurrir cuando sobrevenga la extinción en masa de las aves y los grandes mamíferos. Sin duda alguna, el «equilibrio de la Naturaleza» quedará afectado a escala planetaria y, por consiguiente, no menos las condiciones de supervivencia de la especie humana.

Se podría objetar que en el pasado ya habían desaparecido muchas especies, antes incluso de que apareciese el hombre sobre la Tierra. Y es cierto, pero se trata de extinciones «naturales», que se producen a lo largo de millones de años, durante los cuales nacen otras especies que «compensan» las desaparecidas. Sin embargo, la extinción de mamíferos y aves se producirá en un tiempo extremadamente corto (cuestión de siglos), y en un plazo tan breve es imposible la creación de nuevas especies capaces de remplazar a las desaparecidas. Y es que la extinción de los mamíferos y aves sólo puede tener efectos catastróficos, como en el caso de la eliminación de las avispas y los gatos domésticos en Borneo ¡pero a una escala muy distinta!

Con todo, se puede hacer frente a esta amenaza si se toman medidas al respecto, la primera de las cuales es la creación y mantenimiento de reservas naturales en todo el mundo.

Un nuevo objetivo para las reservas

Desde el siglo XIX, en las regiones templadas y países industrializados (América del Norte y Europa) han sido creadas numerosas reservas;(6) y después de la segunda guerra mundial se ha hecho lo propio en las regiones tropicales y subtropicales (Africa, Ceilán, Costa Rica, Brasil, etc.). Pero su finalidad era más limitada que la que hoy se propone. En efecto, hasta ahora, las reservas naturales se han concebido como medidas de salvaguardia del patrimonio natural,(7) del mismo modo que existen medidas de salvaguardia del patrimonio cultural (museos, clasificación de lugares y monumentos históricos, etc.). Pero desde el momento en que se quiere dejar de considerar las reservas como simples museos de la Naturaleza, y entenderlas como medios para evitar la extinción masiva de los grandes mamíferos y las aves, así como

En el caso de las ballenas, es la sobreexplotación de las poblaciones por razones comerciales (aceite de ballena, etc.) lo que ha hecho que al menos doce especies corran peligro de extinción. Algunas, como la ballena azul, *Balaenoptera musculus*, tienen poblaciones tan escasas, que los balleneros consideran su caza como no rentable, por lo raro que es encontrar un individuo de esta especie. (Foto: Jacana.)

(6) N. Moore, *New Scientist, 1289*, 147, 1982.
(7) Anima a sus creadores la idea de que estas reservas constituyan un día los núcleos de una red cada vez mayor, con miras a recuperar parte de lo perdido.

sus catastófricas consecuencias en el conjunto de la biosfera, hay que plantear algunas cuestiones: ¿en qué condiciones se puede asegurar una supervivencia a largo plazo de las especies conservadas en reservas? ¿En qué condiciones pueden dichas especies continuar obedeciendo las leyes naturales de la evolución de las especies, dando lugar a fenómenos de adaptación y especiación? Para asegurar esa supervivencia a largo plazo es imprescindible preservar la capacidad de las especies para adaptarse a condiciones cambiantes del medio. En cuanto a preservar su capacidad de producir nuevas especies, es igualmente necesario por la razón que ya hemos señalado: si las especies en vías de extinción se pueden remplazar por otras nuevas el equilibrio del ecosistema y de la biosfera queda asegurado.

En su libro *Conservation and evolution,* los biólogos O.H. Frankel, australiano, y M.E. Soulé, norteamericano, examinan las cuestiones anteriormente planteadas. Las respuestas actualmente disponibles son complejas, muy fragmentarias y frecuentemente contradictorias y tentativas. Sin embargo, hay un concepto fundamental, tomado de la teoría de la evolución de las especies, que conviene tener en cuenta: para preservar a las especies de la extinción, así como para conservar su potencial evolutivo, antes que nada es imprescindible mantener su diversidad genética. Basándose en observaciones empíricas y en consideraciones teóricas, Frankel y Soulé llegan a la conclusión de que, en cuanto a las reservas, hay dos cifras que jamás hay que perder de vista: en primer lugar, el tamaño de la población efectiva (compuesta por los individuos que se reproducen efectivamente) de una especie dada no puede ser menor de 50 ejemplares, pues por debajo de esta cifra la tasa de consanguinidad aumentaría con demasiada rapidez, por lo que en seguida disminuiría la capacidad de reproducción de la población. Dicho de otra forma, una especie protegida en una reserva, cuya población descienda por debajo de esta cifra, estaría condenada a la extinción a corto plazo.

En segundo lugar, si se quiere que una especie preservada en una reserva mantenga toda su diversidad genética para poder evolucionar, debe haber un mínimo de 500 individuos que se reproduzcan efectivamente (para lo que frecuentemente se necesita una población real de 1 000 a 1 500 individuos como mínimo). En el caso de los grandes mamíferos carnívoros, para cumplir estas condiciones se necesitan reservas de grandes dimensiones. En el caso del puma, por ejemplo, que vive en solitario, cada individuo ocupa unos 26 km^2; en consecuencia, para alojar a 500 pumas, haría falta una superficie de 13 000 km^2. Señalemos, además, que del total de las reservas existentes en la actualidad en el mundo, no más del 3,5 % tienen una superficie superior a 10 000 km^2. Por lo tanto, los grandes mamíferos carnívoros no tienen, según parece, esperanza alguna de futuro.

Por otra parte, Frankel y Soulé explican que la genética de poblaciones no es la única razón de que las reservas hayan de tener grandes dimensiones. En efecto, sería erróneo considerar cada especie aislada de las demás que habitan en la reserva, ya que guardan entre sí relaciones ecológicas. Ahora bien, las reservas son esencialmente «enclaves» en el seno de un territorio, por lo que desde el punto de vista biogeográfico representan islas. Una conocida ley de la biogeografía dice que cuanto más pequeña es una isla menor es la diversidad de las especies que contiene (y viceversa). Además, la inmensa mayoría de las reservas actualmente existentes en el mundo son muy pequeñas: el 78 % tiene menos de 1 000 km^2, lo cual significa que en ellas y en un plazo bastante corto (a escala de la historia de la biosfera), es previsible una disminución de la diversidad de las especies. M. Soulé considera que, en los próximos 500 años, incluso las mayores reservas actualmente existentes perderán el 30 % de las especies de mamíferos de mayor tamaño.

Las lecciones de la observación de las poblaciones naturales

¿Hay esperanzas de salvar de la extinción a los grandes mamíferos y a las aves? Frankel y Soulé aseguran que sí. En primer lugar, aún se está a tiempo (aunque deba hacerse rápidamente) de crear el mayor número posible de reservas de gran tamaño. Para ello, los biólogos necesitan el apoyo de la opinión pública, ya que no se trata de simple compasión por los animales, sino de saber si queremos legar a nuestros descendientes un planeta devastado y hecho inhabitable por una catástrofe.

Seguidamente, hay que disponer métodos de gestión genética racional de las especies protegidas en las reservas. Empíricamente, se puede pensar en influir en la capacidad de reproducción de una población manipulando la proporción de sexos, la estructura de edades de la población, etc. Sin embargo, estos métodos no serán realmente racionales y aplicables hasta que se comprenda detalladamente la evolución genética de las pequeñas poblaciones naturales de una generación a otra. En este campo, las técnicas de observación (electroforesis, por ejemplo) no son ni complejas ni costosas: M.E. Soulé y O.H. Frankel insisten en que lo esencial es que las observaciones se prolonguen el tiempo suficiente (varios decenios, lo que para las especies de vida larga significa más de un siglo). A decir verdad, este tipo de estudios a largo plazo todavía no se ha empezado a practicar, sobre todo en Francia (en cambio, Gran Bretaña cuenta con los «institutes of terrestrial ecology» que han realizado estudios prolongados de ecosistemas, —por ejemplo, de la fauna y la flora de los páramos escoceses— durante una veintena de años).

Así pues, en la actualidad hay que reconocer crudamente que faltan estudios sobre la evolución genética de pequeñas poblaciones a largo plazo que, en realidad, serían decisivos incluso para saber si determinadas hipótesis de base de Frankel y Soulé son válidas o no. Por ejemplo ¿es cierto que una pequeña población de menos de 50 individuos está condenada a la extinción? Esta hipótesis de Frankel y Soulé se basa en argumentos teóricos (matemáticos) y en observaciones sobre el aumento del nivel de consanguinidad en generaciones de animales domésticos. Pero si nos fijamos en lo que sucede realmente en la naturaleza, nos daremos cuenta de que las poblaciones naturales de numerosas especies están extremadamente subdivididas en pequeños grupos autónomos. Frecuentemente ocurre que los grupos de reproductores efectivos parecen componerse en menos de 50 individuos (aproximadamente, una decena). Éste es el caso del gorila, el licaón, el lagópodo, etc. El problema está en saber hasta qué punto estos pequeños grupos naturales se reproducen «en circuitos cerrados» (es decir, sin migración de individuos de grupo a grupo), y hasta qué punto pueden soportar o no una fuerte tasa de consanguinidad. Los estudios basados en la observación de poblaciones naturales han de confirmar si la cifra de 50 individuos, adelantada por Frankel y Soulé como límite para la reproducción eficaz, se corresponde o no con la realidad. Si bien Frankel y Soulé se pueden equivocar en determinados aspectos de los métodos a emplear para la gestión de las reservas, debe quedar bien claro que no se equivocan ni sobre el peligro de extinción masiva de los mamíferos y las aves, ni sobre la urgencia de crear y mantener reservas naturales con un nuevo enfoque: el de paliar, en primer lugar, esta catástrofe y sus consecuencias, y seguidamente mantener y restablecer la fauna y la flora integradas en sus ecosistemas.

Paul Hopkins y *Marcel Blanc.*

La macroevolución

por Niles Eldredge

Niles Eldredge trabaja en el departamento de invertebrados del American Museum of Natural History de Nueva York.

■ Desde hace muchos años, la teoría de la evolución de las especies es objeto de numerosas controversias. Una de ellas nos lleva a la macroevolución: se trata de la evolución a gran escala que contempla la aparición de las especies en el seno de las familias, órdenes, clases...

■ ¿Responden macroevolución y microevolución a mecanismos idénticos? Dicho de otro modo ¿se basan en estas pequeñas modificaciones genéticas que aparecen continuamente en las poblaciones? Mientras que los defensores de la teoría neodarwinista moderna responden que sí, un número de biólogos cada día mayor lo niegan.

■ Niles Eldredge, que desde el inicio de los años 1970 ha propuesto un nuevo modelo de evolución denominado de equilibrios intermitentes, explica aquí por qué los mecanismos de la macroevolución le parecen relativamente independientes de los de la microevolución.

■ La teoría de la evolución de las especies ha entrado en ebullición. Después de casi cincuenta años de relativa calma, nos encontramos una vez más ante una plétora de teorías evolutivas y, de momento, parece que no hay dos biólogos capaces de ponerse de acuerdo acerca de la mayoría de los aspectos relativos a los mecanismos de la evolución.

Desde todos los sectores de la biología (genética molecular, biología del desarrollo...) se han propuesto nuevas concepciones en materia de evolución (cf. *Mundo Científico*, nº 12, marzo 1982). Pero quizá no haya un campo más agitado que el de la macroevolución. De hecho, las opiniones que en él se sostienen constituyen una excelente revelación de cómo se enfoca la teoría de la evolución en general.

¿Qué se entiende por macroevolución? Este término se comprende mejor si se considera primero su opuesto: la microevolución. Ésta designa la aparición incesante de pequeñas modificaciones en las poblaciones salvajes o domésticas o en las poblaciones de animales de laboratorio: las moscas drosofilas pueden nacer con alas más cortas de lo normal, o bien con mayor número de quetas en las patas; hay gallinas que nacen más ponedoras; caballos con crines más largas... (fig. 1). Se trata de modificaciones a pequeña escala. Sin embargo, resulta evidente que se producen modificaciones de mucha mayor amplitud cuando se recorre el árbol genealógico de las especies. Por ejemplo, las ballenas o los murciélagos proceden de especies ancestrales de mamíferos que vivían en el suelo y poseían cuatro patas: las primeras han desarrollado aletas; los segundos, alas. Las ballenas o los murciélagos comprenden especies agrupadas en órdenes diferentes en el seno de la clase de los mamíferos (fig. 2): las primeras pertenecen al orden de los cetáceos; los segundos al de los quirópteros. Los órdenes son niveles elevados en el seno de la clasificación jerárquica de las especies. Ésta, recordémoslo, se realiza del siguiente modo: agrupa a las especies próximas en géneros, los géneros en familias, las familias en órdenes, los órdenes en clases, etc. La mayoría de los biólogos admiten que la macroevolución concierne a la génesis de los grupos taxonómicos de rango elevado (familia, orden, clase...). El problema fundamental de la macroevolución consiste entonces en explicar cómo se producen las modificaciones de gran amplitud en los caracteres anatómicos de las especies, que obligan a agruparlas en niveles de clasificación cada vez más elevados. En particular, la cuestión crucial consiste en saber si los mecanismos biológicos responsables de la microevolución en el seno de las poblaciones son suficientes para explicar las modificaciones de gran amplitud de la macroevolución.

Dicho de otro modo ¿son suficientes los mecanismos de modificaciones de las especies clásicamente estudiados, por ejemplo, en las poblaciones experimentales de moscas drosofilas (número de quetas en las patas, talla de las alas...) para explicar el nacimiento, por ejemplo, de la clase de los mamíferos o del orden de los roedores?

Tradicionalmente, la teoría de la evolución en vigor, es decir, la teoría sintética o neodarwinista, ha respondido afirmativamente a estas cuestiones. Pero desde hace un decenio, un creciente número de biólogos cuestionan esta concepción. Anteriormente ya hubo discusiones de esta clase, sobre todo en los años 1940 cuando se gestaba la teoría sintética de la evolución (véase cuadro). Pero las discusiones actuales no son tan sólo una simple repetición de las del pasado: en nuestros días se está esbozando realmente una forma nueva de considerar la teoría de la evolución y éste es un aspecto original de gran importancia.

Una teoría reduccionista: la teoría neodarwinista de la evolución

La teoría de la evolución, denominada «síntesis moderna» por sus artífices (y también conocida como «teoría neodarwinista») fue construida desde finales de los años 1920 hasta principios de los años 1950. Se sustenta en millares de artículos científicos y un gran número de libros mayores. Resumir sucintamente una doctrina de tan vastas proporciones siempre es arriesgado, pero creo que puede admitirse la siguiente idea fundamental, enunciada más o menos como sigue por Ernst Mayr:[1] el término «síntesis evolutiva», introducido por Julian Huxley en 1942 en su libro *Evolution, the modern synthesis*, responde al consenso general acerca de dos conclusiones: la evolución gradual de las especies puede ser explicada mediante la aparición de pequeños cambios genéticos aleatorios (mutaciones) y de su tría por la selección natural; además, todos los fenómenos evolutivos, inclusive la macroevolución y la especiación (acto de nacimiento de las especies), son explicables por estos mismos mecanismos genéticos. Así, según Ernst Mayr, la síntesis consiste esencialmente en dos cosas: una teoría del cambio genético y una extrapolación de esta teoría a todos los aspectos de la evolución, la macroevolución incluida.

Pero veamos el asunto con más detalle. La teoría del cambio genético reconocida por los artífices de la síntesis evolutiva admite, en primer lugar, que las especies están adaptadas a su ambiente gracias a determinadas funciones fisiológicas o bioquímicas: por ejemplo, los peces están adaptados a la vida acuática y tienen branquias, una forma del cuerpo generalmente hidrodinámica (fusiforme), etc. Los topos están adaptados a la vida subterránea, son ciegos, y poseen patas modificadas en una especie de palas... Estos dispositivos adaptativos son hereditarios y característicos de la especie: dicho de otro modo, están determinados por una colección de genes particulares (los genes son las unidades elementales de la herencia). La teoría neodarwinista del cambio genético es la siguiente: constantemente se producen en las poblaciones modificaciones accidentales del patrimonio hereditario, es decir mutaciones de genes. Por ejemplo, en el ga-

(1) E. Mayr, B. Provine (eds.), *The evolutionnary synthesis*, p. 1, Harvard University Press, 1980.

A

B

C

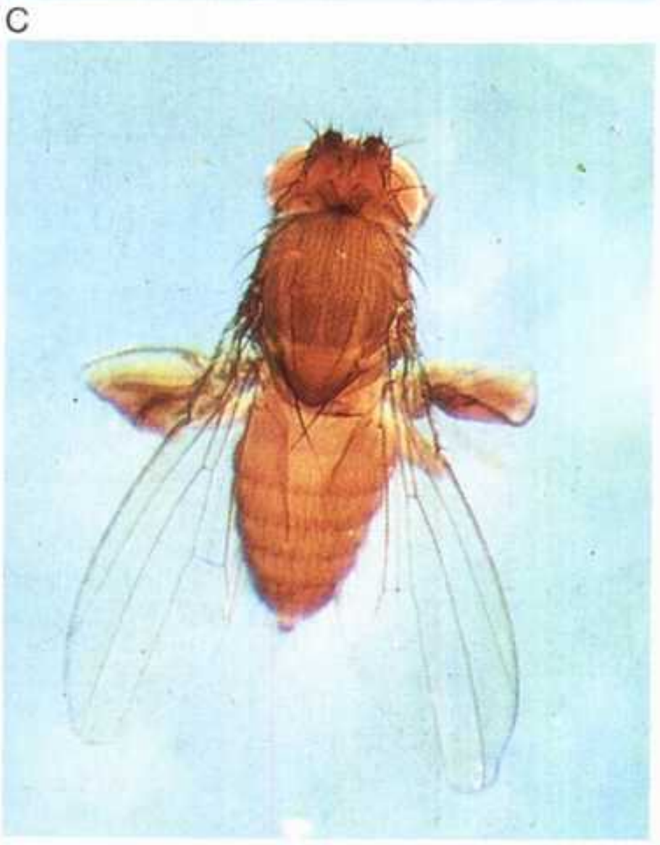
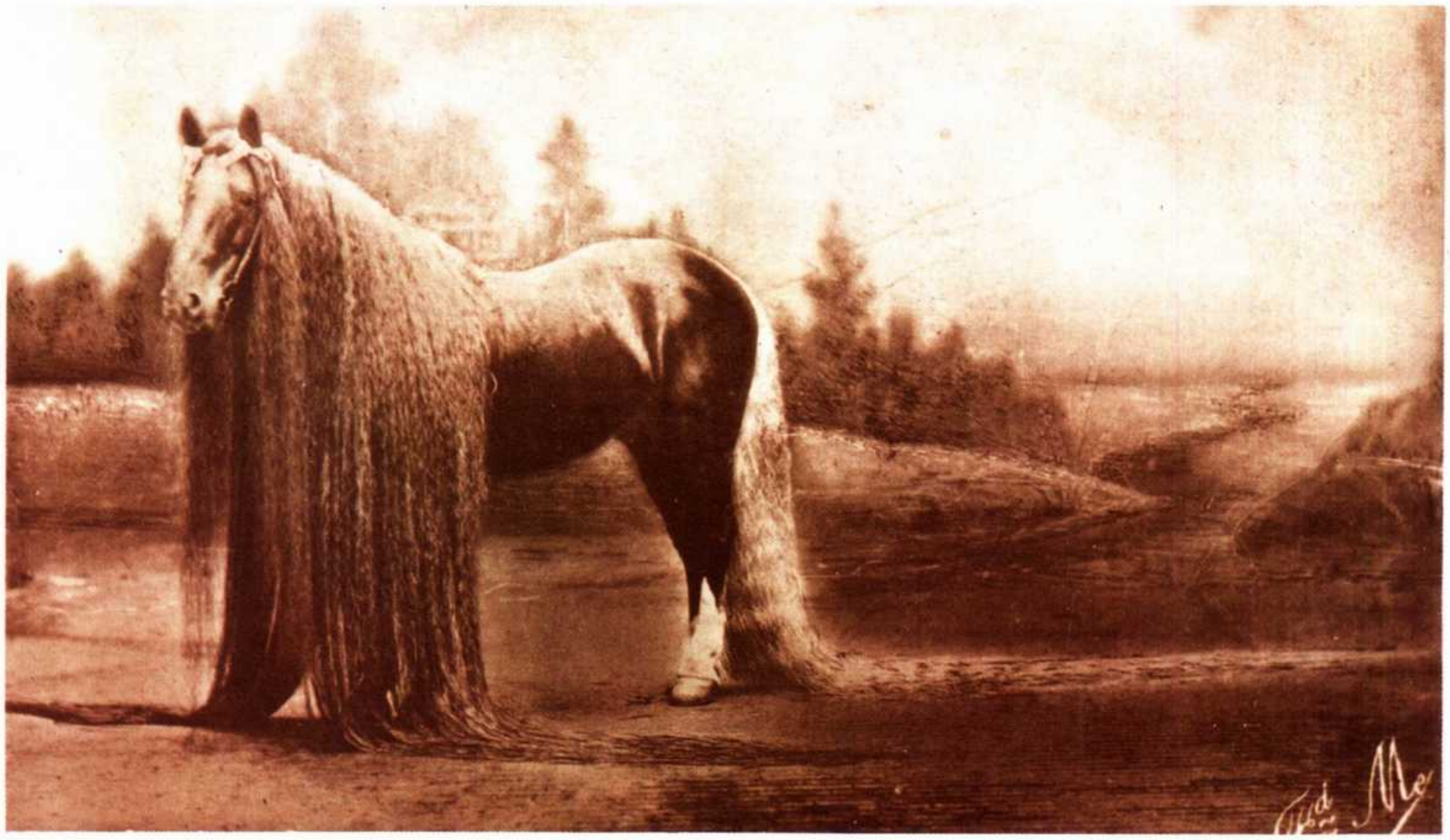


Figura 1. **Constantemente aparecen pequeñas modificaciones en el seno de las poblaciones de una especie dada. Son el resultado de mutaciones genéticas.** A. **El gato siamés es una variedad de gato en la que ha mutado un gen que controla la pigmentación del pelo.** B y C. **Las drosofilas normales poseen un par de alas, al que sigue otro vestigial. En** B, **se observa una mosca en la que una mutación ha reducido el primero al orden del segundo; por tanto, esta mosca mutante está ahora desprovista de alas. En** C, **una mutación de otro tipo ha transformado el par de volantes vestigiales en alas, y la mosca mutante tiene ahora cuatro pares de alas.** D. **También este caballo con crines muy largas es un mutante. El problema reside en saber si el mecanismo de las modificaciones de pequeña amplitud es capaz de explicar, por sí solo, la evolución de gran amplitud que ha hecho que la ballena o el murciélago procedan de especies de mamíferos provistos de cuatro patas y que vivían en tierra firme.**



Según el neodarwinismo clásico, todos los aspectos de la evolución se reducen a los observados en el laboratorio en las poblaciones de moscas drosofilas.

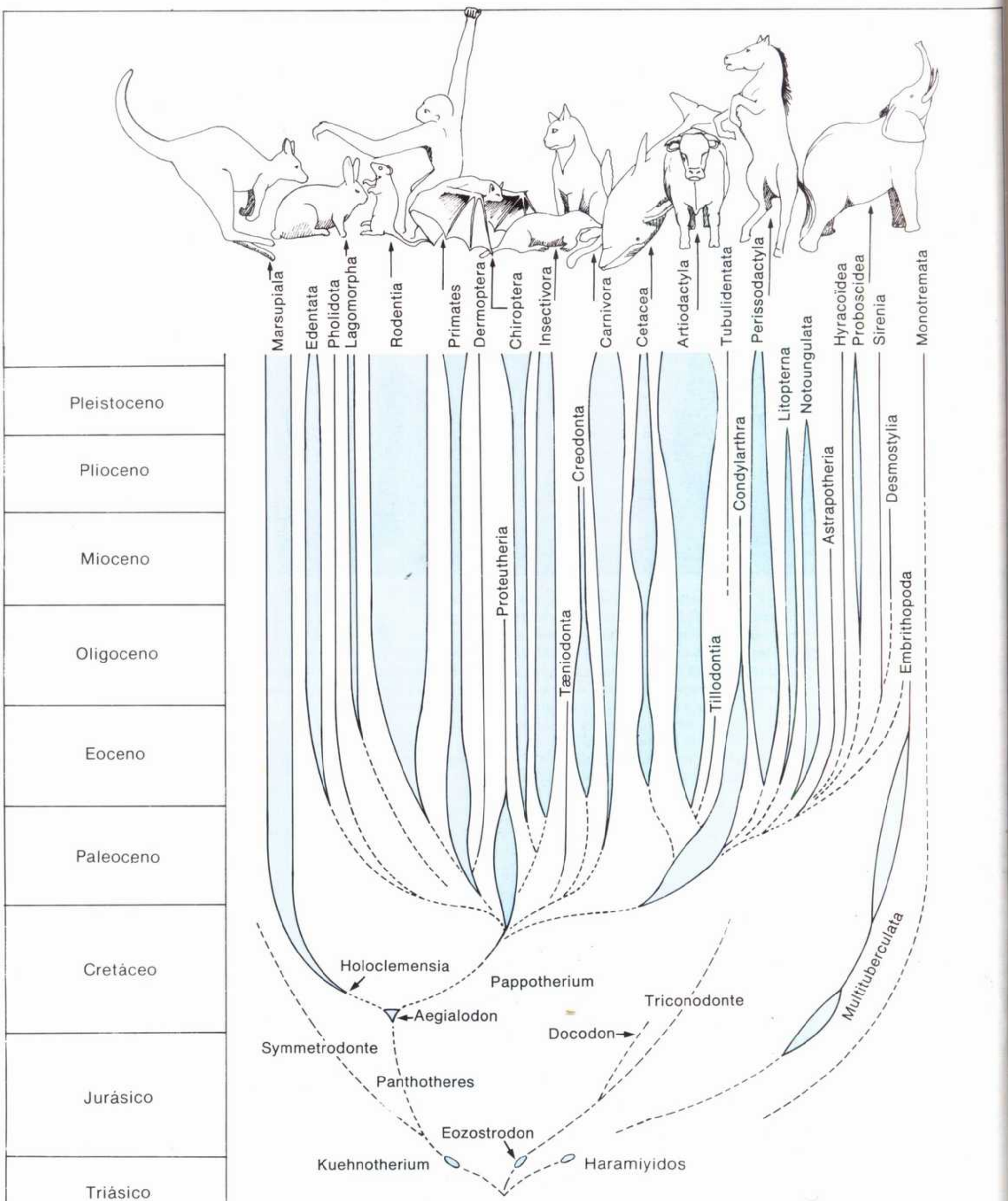


Figura 2. **La macroevolución tiene por objeto comprender cómo han aparecido, en el curso de las eras geológicas, las especies y los grupos de especies próximas, agrupadas por categorías de clasificación: las especies son reagrupadas en géneros, los géneros en familias, las familias en órdenes y los órdenes en clases.**
Este esquema muestra la aparición de los principales órdenes de la clase de los mamíferos. Resulta notable el hecho de que aquí esta aparición se realice como verdadera «explosión» a partir de un número muy pequeño de especies ancestrales. Esta enorme diversificación de las especies de mamíferos ha tenido lugar con motivo de la conquista de ambientes extraordinariamente variados: mar (ballenas); aire (murciélagos); desiertos; tierras polares, etc. Es lo que se denomina radiación adaptativa. Las morfologías características de las diversas especies de mamíferos, reagrupadas en los diversos órdenes, pueden ser extremadamente diferentes de un orden a otro, ¡compárense el murciélago, la ballena y el caballo!

to, una mutación de un gen que controla la pigmentación del pelo ha producido la variedad «siamesa» (anteriormente ya se han presentado otros ejemplos: las pequeñas modificaciones que hemos señalado de aparición común en las poblaciones de moscas, de gallinas, de caballos, son de hecho, debidas a mutaciones).

Pero las mutaciones tienen, en general, un efecto desastroso; en la especie humana, por ejemplo, muchas enfermedades de la sangre (como la talasemia) son debidas a mutaciones que afectan a los genes que controlan la síntesis de la hemoglobina. En la mayoría de los casos, los individuos portadores de estas mutaciones deletéreas morirán antes de alcanzar la edad reproductiva y en caso de llegar a ella no vivirán posiblemente lo suficiente como para dejar un gran número de descendientes. A lo largo de las generaciones, los individuos portadores de estas mutaciones tenderán a decrecer en número, y pueden hasta desaparecer. Sin embargo, ciertas mutaciones tienen un efecto favorable y permiten a sus portadores vivir mejor, durante más tiempo y reproducirse con ventaja: sus descendientes serán más numerosos, y las poblaciones de la especie tenderán entonces a estar constituidas tan sólo por los individuos portadores de las variedades genéticas favorables. Esta supervivencia diferencial de las mutaciones favorables y desfavorables es lo que constituye la acción de la selección natural; y es debido a ésta, según la teoría sintética, el que las poblaciones tiendan a estar óptimamente adaptadas a su medio, y el que las especies tiendan a insertarse en el nicho ecológico que les es propio. Para Theodosius Dobzhansky, por ejemplo, la enorme diversidad de los organismos vivientes puede estar correlacionada con la inmensa variedad de ambientes y nichos ecológicos presentes en la tierra. Una determinada especie de insectos (dotada de una colección particular de genes) se alimenta de hojas de encinas; otra especie de insectos (dotada de una colección de genes distinta) se alimenta de acículas de pinos...

En el marco que hemos esbozado, si las condiciones del medio cambian, las especies cambian por progresivo remplazamiento de los caracteres genéticos iniciales de la especie por nuevos caracteres genéticos (genes mutados) mejor adaptados a las nuevas condiciones. Para la teoría sintética neodarwinista, la aparición de especies nuevas consiste en la modificación progresiva de la composición genética de las poblaciones. Y la macroevolución, es decir, la aparición de especies cada vez más diferenciadas por sus caracteres genéticos, no hace más que traducir esta modificación progresiva de la composición genética de las poblaciones adaptando las nuevas especies a toda una gama de nichos ecológicos diferentes pero próximos.

Theodosius Dobzhansky ilustra lo que acabamos de decir con una imagen:[2] cada especie ocupa un pico o máximo adaptativo, en el sentido en que está caracterizada por la dotación de genes más adecuados a su propio medio (nicho ecológico). La ordenación de las especies en géneros, familias, órdenes, clases, etc., realizada por los sistemáticos, responde al hecho de que los picos adaptativos no están distribuidos al azar. Para continuar con la imagen de los relieves «montañosos», los picos adaptativos forman cadenas en las que las distintas cimas están separadas por hoyos, pero por hoyos menos profundos que los que separan a las cadenas... De hecho, el nicho ecológico ocupado por la especie león está relativamente más próximo al ocupado por el tigre, el puma y el leopardo, que al ocupado por el lo-

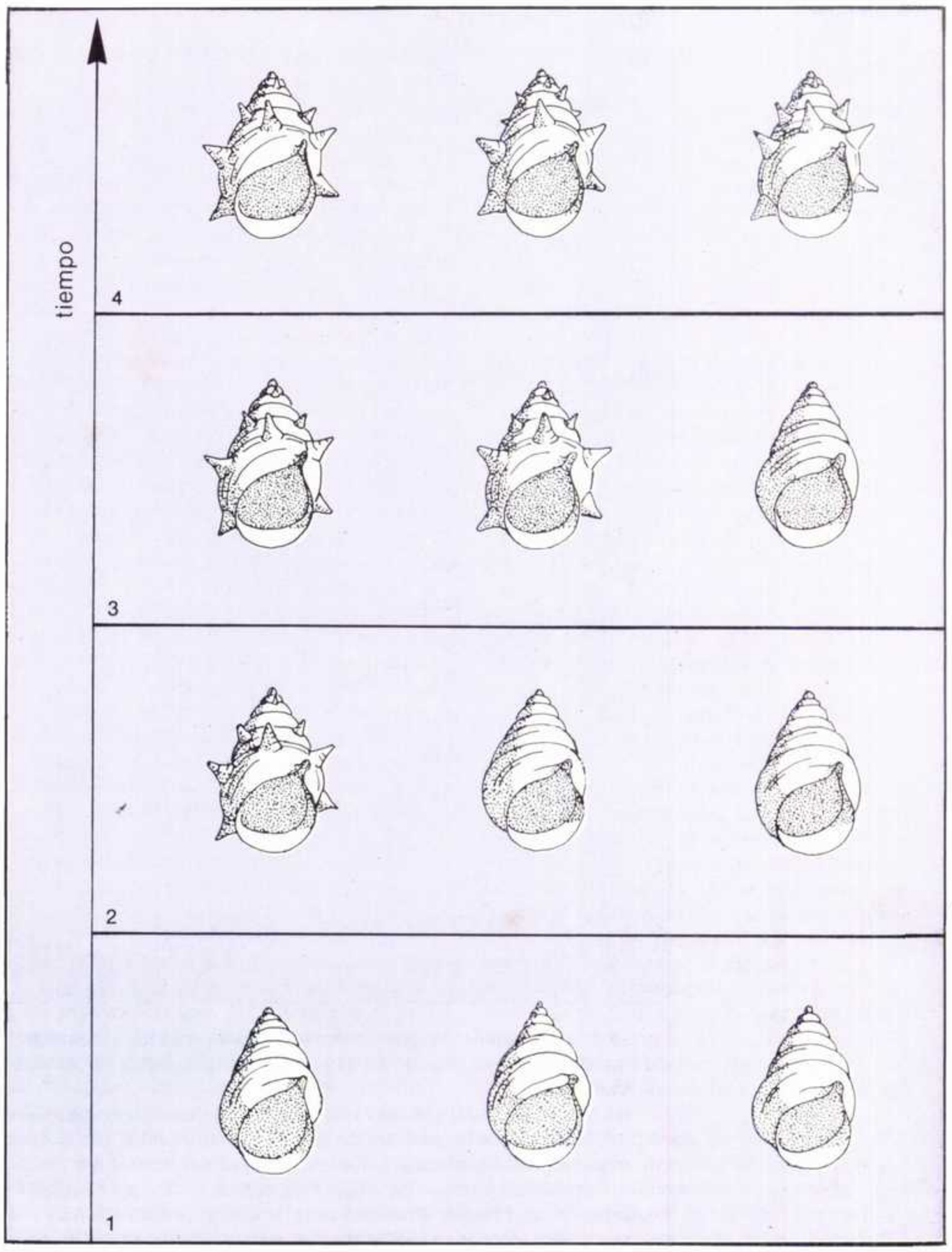
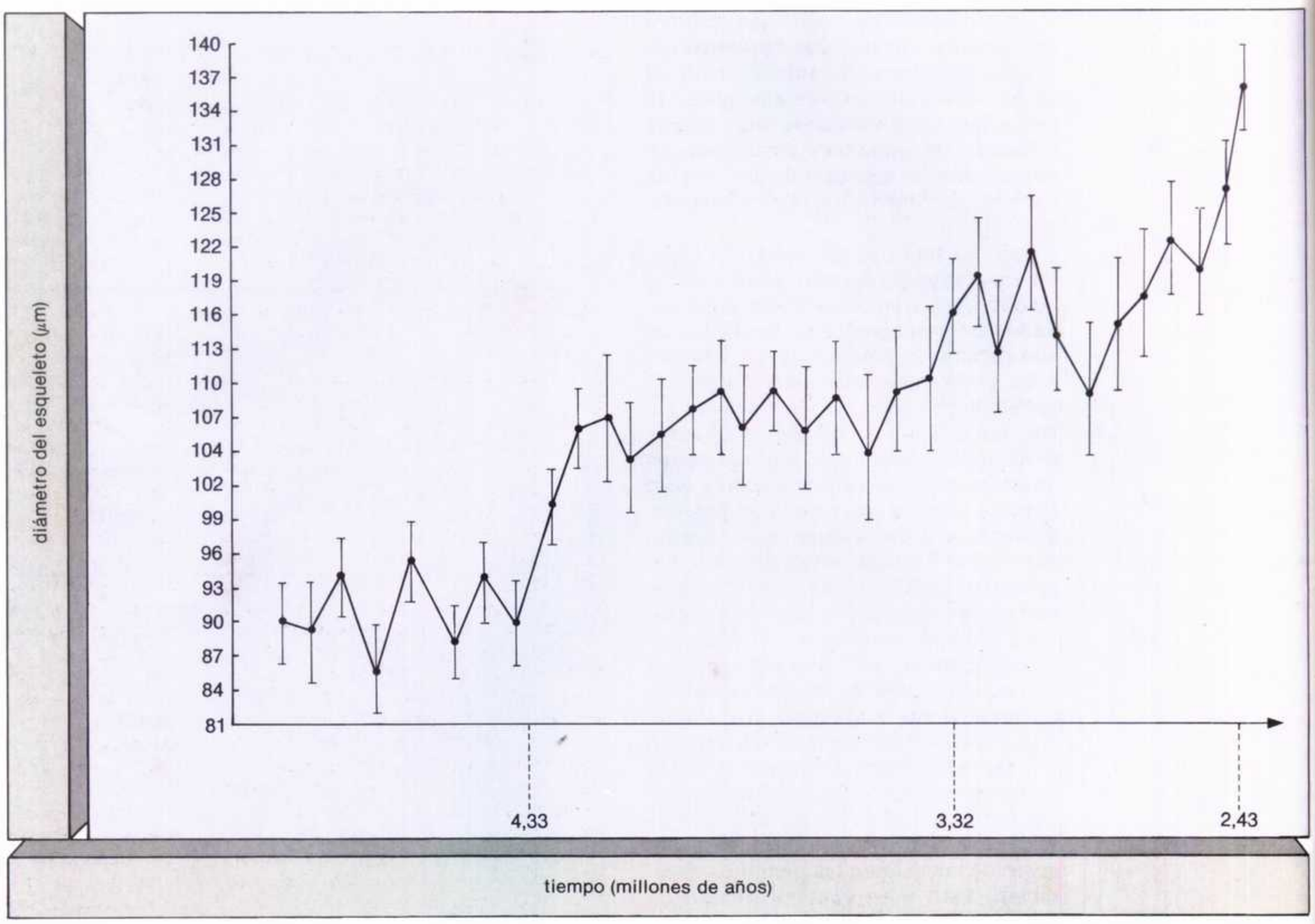


Figura 3. **Este esquema hipotético ilustra cómo la teoría neodarwinista concibe el paso de una especia a otra (= macroevolución) por medio de modificaciones mínimas que afectan a las poblaciones gradualmente (= microevolución). Se han representado cuatro poblaciones de caracoles fósiles, en orden de antigüedad de abajo arriba. En el estrato nº 1, la población sólo está representada por individuos con conchas lisas. En el transcurso del tiempo aparecen individuos con conchas espinosas, que progresivamente pasarán a ser mayoritarios en las poblaciones más recientes. En este marco, el sistemático podrá reconocer una especie en el estrato nº 4, claramente distinta de la especie representada en el estrato nº 1. Sin embargo, numerosos paleontólogos hacen notar actualmente que los estadios de transición (aquí estratos nº 2 y 3) no existen en las series fósiles, y que lejos de representar una laguna de fosilización, este hecho traduce el mecanismo real de la especiación.**

(2) Th Dobzhansky, *Genetics and the origin of species*, p. 9-10. 3ª edición, Columbia University Press, 1951.

El nuevo concepto postula que los mecanismos que cambian la composición genética de las poblaciones no son iguales que los que rigen la macroevolución.



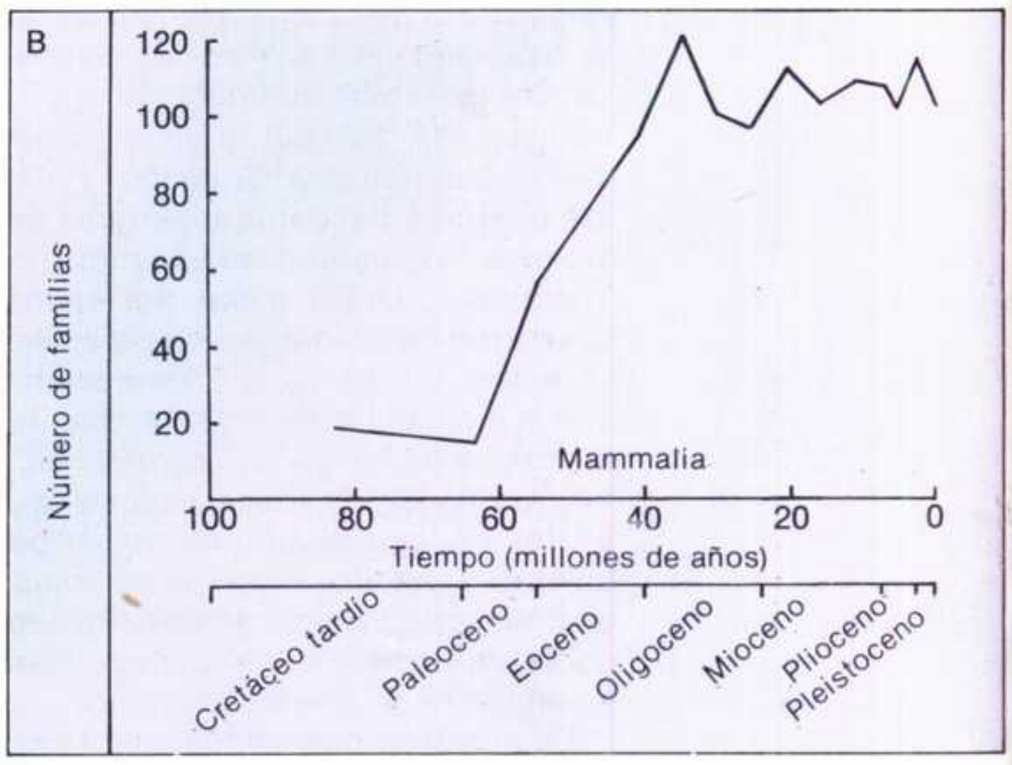


Figura 4. **Los paleontólogos utilizan diversos métodos cuantitativos para medir las tasas evolutivas o las tasas taxonómicas en las diferentes lineas.**
A. **Este diagrama ilustra la tasa evolutiva de un carácter en una especie de protozoo radiolario: se trata de un animalículo unicelular dotado de una especie de esqueleto silícico esférico. El carácter cuya evolución en el curso del tiempo ha sido seguida aquí es precisamente el diámetro del esqueleto. (Procede señalar que esta evolución se realiza según el modelo de los equilibrios intermitentes: dos estadios de larga duración son claramente visibles en la dimensión del esqueleto, y la transición entre los dos es brutal.)** (Según D. E. Kellog.)
B. **La determinación de las tasas taxonómicas permite apreciar la intensidad de las fases de especiación en una linea dada. Al efecto, cabe representar gráficamente el número de categorías taxonómicas de un nivel dado que aparecen en función del tiempo. Aquí se ha considerado el caso de la clase de los mamíferos y se ha tomado el número de familias aparecidas desde el cretáceo tardío hasta la actualidad.** (Según J. A. Lillegraven.)
Si la teoría neodarwinista fuese exacta, en una linea deberia haber correlación exacta entre las tasas evolutivas de los caracteres y las tasas taxonómicas, lo cual dista de suceder.

bo, el coyote o el chacal. Esto quiere decir que en la imagen de Th. Dobzhansky, los picos adaptativos de los felinos forman una «cadena» de picos distinta (y por lo tanto separada por una fosa) de la de los cánidos. Del mismo modo, la cadena de picos de los cánidos, de los úrsidos, de los mustélidos, etc., forman conjuntamente la cadena de picos adaptativos de los carnívoros, separada a su vez por profundas fosas de la cadena de los picos adaptativos de los roedores, de los ungulados, de los quirópteros, de los primates, etc. Estas cadenas de picos adaptativos constituyen, de hecho, el sistema de picos adaptativos de los mamíferos, el cual es biológica y ecológicamente distinto del sistema adaptativo de las aves, de los reptiles, etc.

Para Th. Dobzhansky, la naturaleza jerárquica de la clasificación de las especies refleja, por tanto, la gama de nichos adaptativos. En el marco conceptual sintético, la misma teoría del cambio genético (mutaciones y tría por la selección natural) explica, por un lado, la transformación progresiva de una especie ancestral en una nueva especie, adaptada a un nuevo medio; por otro, la aparición de especies cada vez más diferenciadas, formando categorías taxonómicas de rango cada vez más elevado.

Así, desde mi punto de vista, la síntesis es una explicación elegante, simple y extremadamente reduccionista en su esencia: reduce todos los aspectos de la evolución a aquéllos encontrados en las poblaciones de moscas dro-

Los precursores de las ideas modernas sobre la macroevolución

■ En los años 1940, mientras se estaba fundando la síntesis moderna (o teoría neodarwinista de la evolución), se avanzaban algunas ideas que rompían con la doctrina neodarwinista de la continuidad perfecta entre micro y macroevolución.

Así, el genetista alemán Richard Goldschmidt (que luego emigró a Estados Unidos) había pasado la mayor parte de su carrera estudiando la variación geográfica de la especie de mariposa denominada *Lymantria*. En 1940 llegó a la conclusión de que los tipos de variaciones genéticas y fenotípicas que se hallaban en el seno de las especies no son de la misma naturaleza que las diferencias que separan a las especies.(4) Se trataba de una observación extraordinariamente interesante, que hasta hoy no se ha empezado a apreciar plenamente. La conclusión de Goldschmidt fue que el mecanismo de la microevolución, en el que la selección natural actúa sobre la gama de las variaciones presentes en el seno de las poblaciones, no es el que gobierna la macroevolución. A Goldschmidt le pareció que las mutaciones ordinarias, tales como las halladas habitualmente en las poblaciones de *Drosophila*, son demasiado pequeñas para trascender. Por ello propuso la hipótesis de que hay macromutaciones, es decir, mutaciones de efectos instantáneos considerable es sobre los individuos. Los artífices de la síntesis objetaron con razón, en aquella época, que de tales «monstruos con futuro» hipotéticos, que carecían de pareja con que acoplarse, difícilmente podía esperarse que llevaran a parte alguna en el seno del proceso evolutivo. Subrayaron que Goldschmidt no podía explicar así, con su teoría, el nacimiento de las nuevas especies, ya que éstas suponen la formación de nuevas comunidades reproductivas. Desacreditada y objeto de burla por los campeones de la síntesis, la noción de macromutación sostenida en aquella época por Goldschmidt es muy parecida, sin embargo, a la que proponen en la actualidad los genetistas acerca de las mutaciones que afectan a los sistemas de regulación genética (una pequeña mutación en estos sistemas puede teóricamente tener efectos enormes sobre el fenotipo del adulto totalmente formado). Y, ciertamente, la observación de Goldschmidt en el sentido de que los tipos de variación hallados en el seno de las especies parecen ser distintos de los que separan a las especies tiene una resonancia del todo moderna. Sin embargo, las ideas propuestas por Goldschmidt también tenían un carácter esencial en común con la síntesis; su teoría de la macroevolución era una aproximación resueltamente reduccionista. La macroevolución era para él un cambio fenotípico a gran escala, sostenido mediante cambios genéticos también a gran escala, es decir, por modificaciones cromosómicas. Y como explicación, ello era tan reduccionista como la invocación de las mutaciones genéticas puntuales por la teoría sintética. Hacia la misma época, también el paleontólogo alemán Schindewolf se interesaba por los fenómenos que separaban a las especies; pero lo que más le importaba eran las lagunas detectadas en las series de fósiles. Mucho antes que Darwin, los paleontólogos ya sabían que los nuevos grupos (por ejemplo, los corales tabulares y los diversos órdenes de briozoos del Paleozoico) tienden a aparecer súbitamente en las series de fósiles. Darwin y sus partidarios explicaban que las lagunas entre especies eran debidas a la imperfección de la fosilización y a insuficiencias en la búsqueda de los fósiles. Schindewolf rechazó esta opinión:(5) admitió que la forma en que aparecen súbitamente o desaparecen también repentinamente los grandes grupos (por ejemplo la extinción de los ammonites y de los dinosaurios al final del período cretáceo) reflejaba el proceso real de la evolución y no se trataba de un artefacto. Schindewolf admitió entonces que había un desarrollo repentino de tipos nuevos —nuevos planes de organización corporal definían nuevos grupos de especies, como en el caso de los trilobites, por ejemplo— que aparecían por un proceso que no era compatible con la modificación regular y lenta de las estirpes por la selección natural.

El paleontólogo norteamericano G. G. Simpson, que fue responsable de la unión de la paleontología con la síntesis moderna, también considera que las lagunas en las series de fósiles eran el principal problema planteado a la paleontología por la teoría evolutiva. En su libro de 1944 «*Tempo and mode in evolution*»,(6) afirmó, no obstante, que las lagunas entre las especies y los géneros eran esencialmente artefactos debidos a problemas de fosilización, y que las series de fósiles demostraban que el 90 % de toda la evolución se realizaba de un modo filético, es decir lineal, reflejando la modificación adaptativa de las estirpes en relación con los cambios de las condiciones del medio. Sin embargo, Simpson pensaba en aquella época que la aparición repentina de grandes grupos nuevos (tales como los trilobites del Cámbrico o los mamíferos en el Mesozoico) requería una explicación particular. Entonces propuso los términos de «microevolución» (diferenciaciones mínimas en el seno de las especies) y «macroevolución» (tipos de cambios genéticos que se manifiestan cuando se pasa de una especie a otra o de un género a otro, cuando están estrechamente emparentados) y «megaevolución» (término suplementario relativo al origen de las familias y de las categorías jerárquicas de rangos aún superiores).

La contribución original de Simpson más conocida continúa siendo la noción de «evolución cuántica». En sus concepciones originales, la evolución cuántica era el mecanismo sobre el que reposaba la megaevolución: la evolución cuántica implicaba cambios genéticos rápidos que se producían en las poblaciones relativamente pequeñas, en el curso de las cuales los organismos rechazaban las viejas adaptaciones, atravesaban una fase preadaptativa, y finalmente alcanzaban rápidamente un nuevo estado adaptativo diferente. Estas fases de evolución rápida que se producían en poblaciones pequeñas no podían dejar demasiadas señales en la documentación fósil.

Más tarde, en 1953, Simpson abandonó el término «megaevolución» y modificó su concepción de la evolución cuántica, que entonces consideró como un caso límite y más o menos extremo de la evolución filética.(7) Así, a partir de 1953, las fases preadaptativas e inadaptativas de la evolución cuántica fueron abandonadas sin más, y apareció la selección natural, como en casi todos los escritos de la teoría sintética en los años 1950, como el único mecanismo que dirigía la totalidad de los cambios genéticos. Dicho de otro modo, a partir de 1953, el reduccionismo de Simpson fue más radical de lo que era en 1944.

sofilas estudiadas en el laboratorio. En realidad, la macroevolución es concebida en este marco como microevolución sostenida durante millares o millones de años. Las modificaciones de gran amplitud que se observan al recorrer la escala de las especies no serían más que el resultado de la acumulación de pequeñas modificaciones a lo largo de los períodos geológicos, que conducirían a diversificar enormemente las adaptaciones de los organismos a los diferentes ambientes.

Precisamente, es esta concepción reduccionista de la teoría sintética la que ha sido cuestionada en los últimos años. Veamos cómo actualmente está viendo la luz una concepción, en cuya virtud la evolución actúa a más de un nivel fenomenológico. Según esta nueva concepción, los mecanismos que cambian la composición genética de las poblaciones no son los mismos que rigen en la macroevolución. (De hecho, algunas ideas modernas relativas a la macroevolución habían sido expuestas ya en los años 1940, es decir, en el momento en que se estaba fundando la teoría sintética.)

Tal como ha recordado recientemente el biólogo norteamericano W.J. Bock,(3) la concepción reduccionista de que la macroevolución es simplemente la microevolución mantenida durante largos períodos geológicos implica una concepción muy particular de la naturaleza de las especies. En sentido reduccionista, si la evolución que engendra las familias, los órdenes, las clases,

(3) W.J. Bock, *Bulletin of the Carnegie Museum of Natural History, 13*, 20, 1979.
(4) R. Goldschmidt, *The material basis of evolution*, Yale University Press, 1940.
(5) O. Schindewolf, *Palaontologie, Entwicklungslehre und Genetik*, Borntraeger, 1936.
(6) G.G. Simpson, *Tempo and mode in evolution*, Columbia University Press, 1944.
(7) G.G. Simpson, *The major features of evolution*, Columbia University Press, 1953.

Para numerosos paleontólogos, las especies no se modifican de manera gradual y continua.

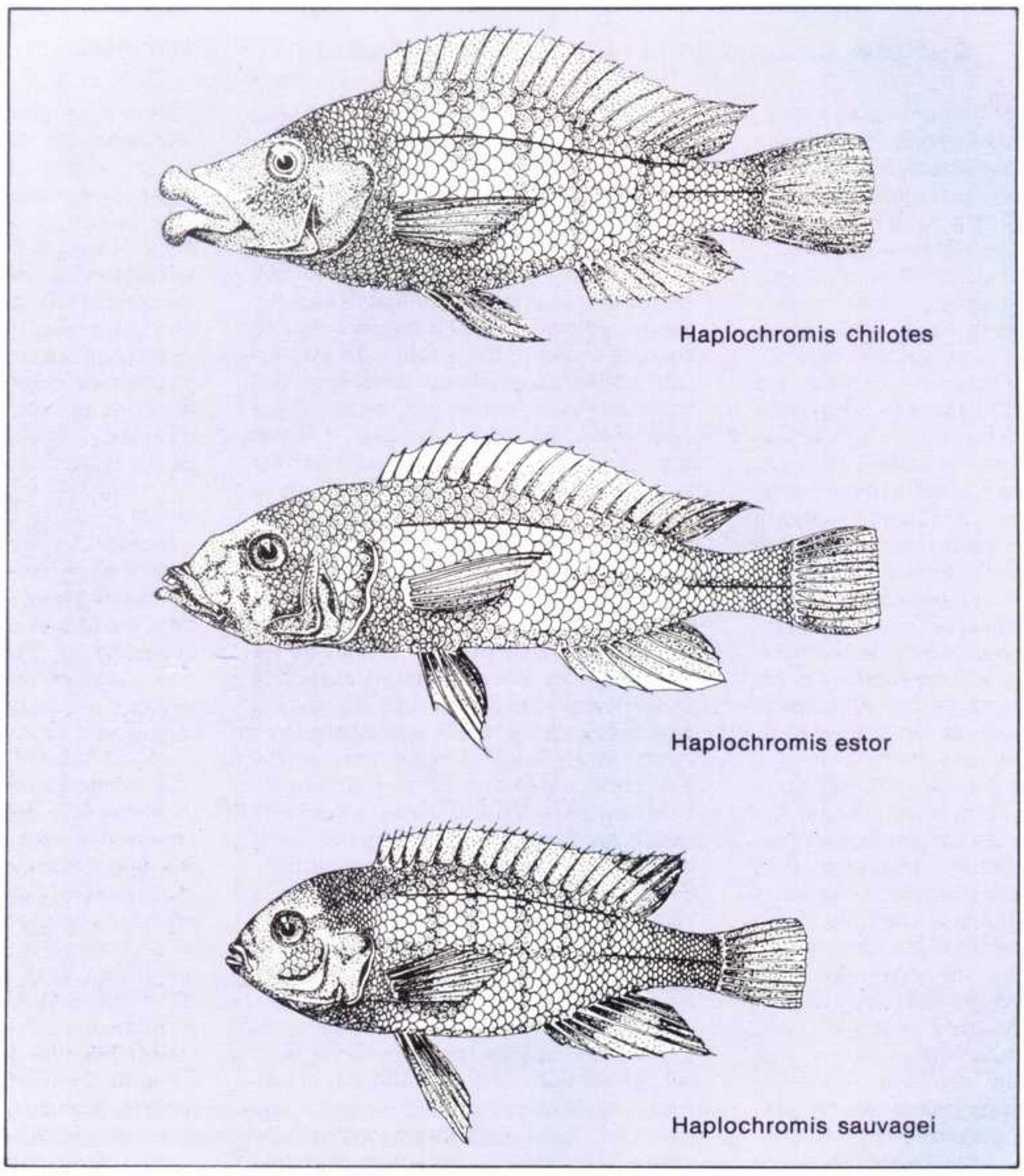


Figura 5. **¿Cómo se articulan tasas de especiación y tasas de cambios adaptativos en las líneas? Éste es uno de los mayores problemas de la nueva teoría de la macroevolución. Los peces cíclidos del género *Haplochromis* que viven en los grandes lagos del Este africano dan ejemplo de especiación muy frecuente (más de cien especies están agrupadas en el género *Haplochromis)* donde los cambios adaptativos están muy marcados, de modo que cada especie es morfológicamente muy distinta de cualquier otra. (*Haplochromis chilotes* se alimenta de insectos; *H. estor,* de peces; *H. sauvagei,* de moluscos). Pero la relación entre tasas de especiación y tasas de cambios adaptativos también puede estar invertida (tasas elevadas de especiación en una estirpe pueden ir acompañadas de pocos cambios adaptativos).**

etc., no es de naturaleza distinta de la evolución que modifica los caracteres adaptativos en el seno de las poblaciones, es debido al hecho de que ambas actúan sobre las mismas entidades biológicas de base: las poblaciones. Las poblaciones pueden ser reconocidas como diferentes en todo momento, y, sin embargo, a medida que pasa el tiempo, una población inicial cambia, se transforma progresivamente. Si ha transcurrido un tiempo suficiente, los cambios se habrán acumulado de tal modo que un sistemático (o un paleontólogo, para las especies fósiles) diagnosticará una nueva especie. Por ejemplo, una especie de caracol fósil estará representada inicialmente por poblaciones de conchas lisas en las capas geológicas más antiguas; después, remontándose a través de los estratos, el paleontólogo encontrará en el mismo lugar poblaciones de conchas con idéntica forma pero provistas de espinas (fig. 3). Entonces dirá que la población inicial se habrá transformado en una nueva población, a la que otorgará la denominación de una nueva especie.

La teoría sintética predice que, si las series de fósiles estuviesen conservadas en su totalidad, se podría seguir in situ la transformación de las poblaciones, de modo que se podrían reconocer especies cada vez más alejadas por sus caracteres de la especie inicial. Dicho de otro modo, en una serie de fósiles perfecta, el paleontólogo estaría en condiciones de designar especies, géneros, familias, órdenes... distintos. Ahora bien, es cierto que para todos los biólogos, las entidades utilizadas por los sistemáticos, tales como géneros, familias, órdenes, clases... son categorías «abstractas», creadas por aquéllos para permitirles clasificar las especies según un orden lógico de proximidad. Pero, en el marco del razonamiento reduccionista sobre la macroevolución, las propias especies son también consideradas como categorías de clasificación. Según este razonamiento, la evolución produce un cambio continuo, una transformación continua de las poblaciones, y los taxonomistas no hacen más que subdividir abstractamente este flujo continuo de manera arbitraria y hasta caprichosa. En teoría, para el taxonomista neodarwinista, si una estirpe cambia de un estadio A hacia un estadio B de tal modo que muestras de A y de B parecen tan diferentes como dos especies contemporáneas, pongamos el león y el tigre por ejemplo, entonces tiene derecho a delimitar en la estirpe evolutiva dos especies A y B. A poco que la estirpe sufra todavía nuevos cambios, que la lleven de un estadio C a un estadio D, estará posiblemente en condiciones de reconocer cuatro especies reagrupadas en dos géneros: un género 1 con las especies A y B y un género 2 con las especies C y D. Esta concepción es consecuencia lógica de la opinión de que a todos los cambios evolutivos cabe una simple función adaptativa en el seno de las poblaciones, a través de las generaciones.

Pero, en oposición radical a esta concepción «abstracta» de la especie, figura una concepción «naturalista», según la cual las especies son entidades biológicas reales. En realidad, esta concepción es muy antigua, muy anterior al neodarwinismo e incluso a Darwin: era conocida por los primeros naturalistas del siglo XVIII. Como prueba de la realidad objetiva de la especie se cita a menudo la siguiente observación realizada por los etnólogos: indígenas de Nueva Guinea, completamente ignorantes de la biología moderna, reconocían en su isla unas «clases» de animales y de plantas exactamente idénticas a las especies reconocidas por los sistemáticos.

Pero los naturalistas del siglo XVIII, aunque habían reconocido bien la noción de especie como entidad real y discreta (bien delimitada), también veían a las especies como entidades inmutables. Darwin se levantó precisamente contra esta fijeza de las especies. Y para establecer la noción de la evolución de las especies, llegó a negar que la especie estuviera delimitada de manera discontinua en la escala del tiempo. Esto volvía a negar la especie como entidad biológica real (y explica que Darwin, como a menudo se ha re-

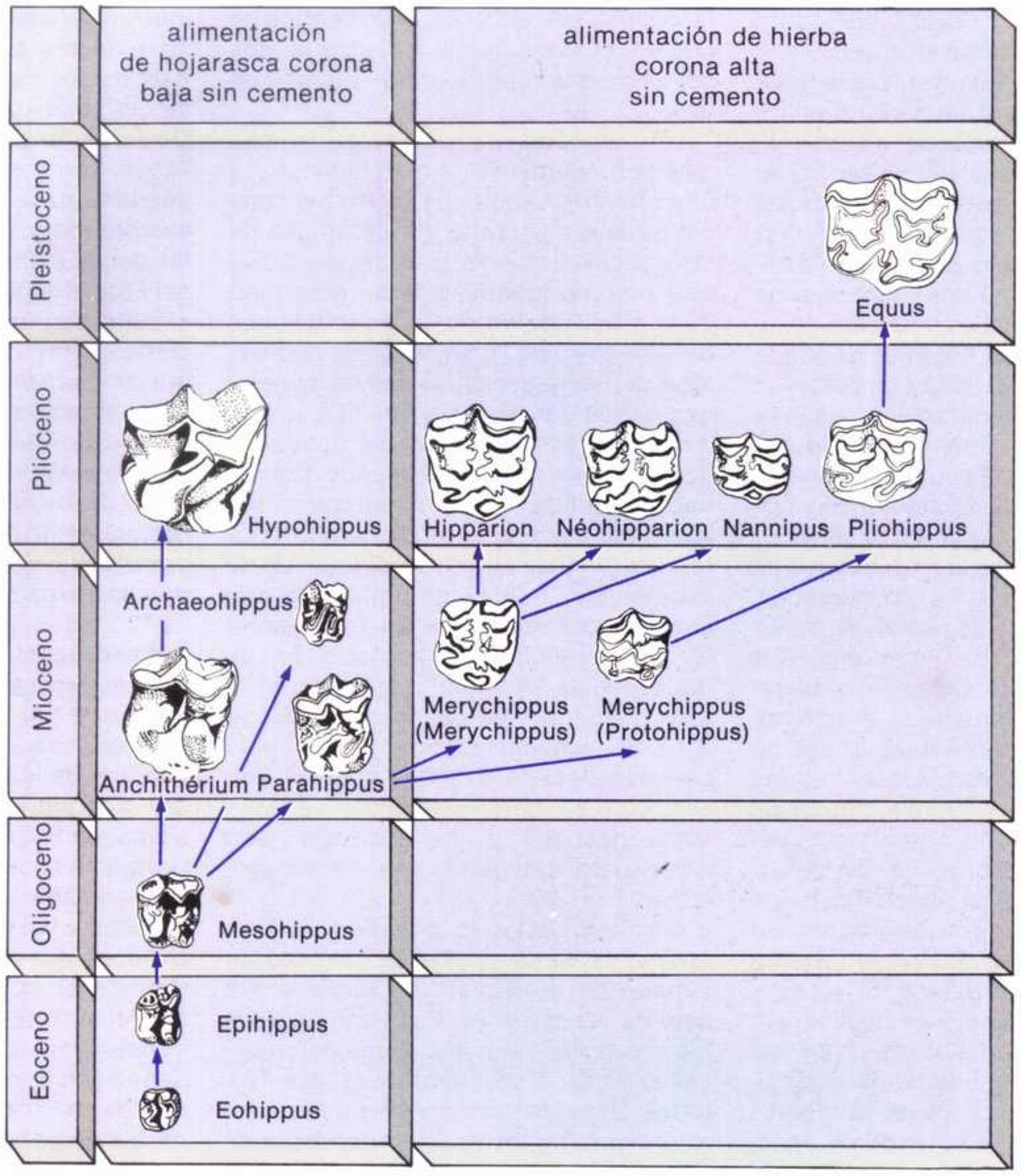


Figura 6. **Una de las líneas evolutivas mejor conocidas es la de los antepasados del caballo. Esta estirpe muestra numerosas tendencias evolutivas. Una de ellas es el incremento de la complejidad del dibujo de la superficie de los molares (al mismo tiempo que la elevación de la corona dentaria y de la dimensión de los dientes). Las superficies dentarias de las diferentes especies de antepasados del caballo aparecen representadas en el diagrama en orden cronológico y con su probable orden de filiación.** (Según G. G. Simpson.) **La explicación clásica de una concordancia tal en los antepasados del caballo ha consistido en decir que se trataba de una adaptación creciente a una alimentación a base de hierbas (y abandono de una alimentación a base de hojarasca). Pero hoy se vislumbra que son posibles otras interpretaciones para explicar las tendencias evolutivas.**

cordado irónicamente, se hubiese ocupado ampliamente en su libro *El origen de las especies* del modo en que éstas se transforman, pero no dijese nada acerca de su origen, es decir, sobre el mecanismo de su aparición: si las especies no existen ¡no hay necesidad de explicar su origen!).

La evolución por equilibrios intermitentes

La concepción de Darwin con respecto a la especie ha sido tomada de nuevo por los artífices de la teoría sintética. Ernst Mayr, desde 1942 principal defensor de la teoría de la especiación, en el seno de los partidarios de la teoría sintética, fue ambiguo. Por un lado, ha reconocido que las especies son entidades objetivas, ya que ha reconocido la necesidad de una teoría particular para explicar el nacimiento de las mismas (es el modelo de la población fundadora, en el cual un pequeño contingente de individuos de una especie dada se separa por azar de la población madre y, al colonizar un nuevo ambiente, sufre una profunda transformación de su patrimonio genético, que da lugar al nacimiento de una nueva especie). Pero, por otro lado, ha defendido la noción darwinista de la transformación permanente y continua de las poblaciones, noción que vuelve a considerar la especie como categoría abstracta de clasificación.

En el último decenio, ha reaparecido la idea de que la especie es una entidad biológica real. El biólogo norteamericano Michael Ghiselin o el filósofo David Hull, por ejemplo, han sostenido dicho punto de vista; en su opinión, las especies tienen una existencia distinta, en el sentido de que a cada una cabe un papel particular en la economía de la naturaleza. Además, son entidades individuales ya que, como ocurre con todo individuo, tienen un origen, una historia y un final.

La misma concepción de especie como entidad individual se impuso a Stephen Jay Gould y a mí mismo cuando, a principios de los años 1970, desarrollamos la noción de evolución por equilibrios intermitentes *(punctuated equilibria),*[8] idea basada en la observación simple, conocida desde hace tiempo por los paleontólogos, de que cada especie nueva aparece bruscamente en las series fósiles, y después persiste sin cambios durante largos períodos (5 a 10 millones de años o incluso más). Luego, una especie dada es remplazada de pronto, sin transición, por otra. Por consiguiente, la evolución de las especies se presenta en las series fósiles como largas fases en las que aquéllas permanecen estabilizadas durante mucho tiempo, fases que son interrumpidas puntualmente por bruscos episodios en los que nuevas especies remplazan a las antiguas.

Esta permanencia y esta estabilidad de las especies, una vez que han aparecido, se oponen al modelo neodarwinista clásico, en virtud del cual los cambios mínimos modifican constante y gradualmente a las poblaciones representativas de la especie (según este modelo, por ejemplo, una especie de caracol de concha lisa se transformaría en una especie de conchas adornadas con espinas, por invasión progresiva en la población de los individuos provistos de éstas). Además, esta evolución por equilibrios intermitentes sostiene convincentemente la idea de que cada especie es una entidad individual, delimitada en el tiempo por un origen, una historia y un final.

La especie: una comunidad de reproducción

La noción de especie como entidad individual delimitada en el tiempo y en el espacio viene corroborada por argumentos genéticos: una especie es una comunidad de reproducción, sexualmente aislada de las otras comunidades reproductivas que forman las otras especies (es la definición biológica de especie de Ernst Mayr). Esto quiere decir que habitualmente un individuo de una especie sólo se acopla con otro individuo de la misma especie. Precisa-

(8) N. Eldredge, *Evolution, 25,* 156, 1971 ; N. Eldredge, S.J. Gould, in T.J.M. Schopf (ed.), *Models in paleobiology,* Freeman, 1972 ; S.J. Gould, N. Eldredge, *Paleobiology, 3,* 115, 1977.

El cambio morfológico en las líneas evolutivas no está correlacionado con la frecuencia de los episodios de especiación.

mente, es la trama de cruzamientos en el seno de la comunidad reproductiva la que asegura a la especie su estabilidad en el espacio y en el tiempo. La aparición de una nueva especie a partir de otra preexistente consiste, de hecho, en la formación de dos comunidades reproductoras donde anteriormente habia sólo una. Es un proceso de escisión análogo al que tiene lugar cuando un paramecio se divide en dos dando lugar a dos individuos Paramecio, donde antes habia sólo uno (esta comparación de la especie con el paramecio subraya una vez más el carácter de individualidad de la misma. Resulta notable el hecho de que esta comparación haya sido utilizada por el propio Ernst Mayr, lo que subraya de nuevo la ambigüedad de sus concepciones acerca de la especie).

Y de este modo llegamos al punto crucial, ignorado generalmente por los artífices de la teoría sintética: si la selección natural produce el efecto de cambiar los caracteres adaptativos de las especies, no es ella la que crea las comunidades reproductivas nuevas. Dicho de otro modo, la constitución del aislamiento reproductivo de una población de organismos en relación con una comunidad reproductiva inicial no representa una adaptación. Se trata de un acontecimiento debido al azar; y puede ser, por ejemplo, consecuencia de un cambio del ambiente físico de una especie, cambio que fragmenta la distribución continua anterior de la misma. Así, cuando se erigió el istmo de Panamá, separando el Caribe del Océano Pacífico, una especie de moluscos marinos, por ejemplo, se vio fragmentada, de hecho, en dos comunidades reproductoras, una a cada lado del istmo: desde entonces sus destinos podían hacerse independientes y, sobre todo, bajo la acción de la selección natural, podían adquirir adaptaciones distintas, en sus respectivos ambientes.

Actualmente existen numerosas teorías de la especiación (= génesis de las especies), en las que el origen del aislamiento reproductivo es considerado por sí mismo, a diferencia de la clásica modificación adaptativa de las poblaciones vía selección natural. Por ejemplo, el citogenetista M.J.D. White ha demostrado que una especie puede aparecer por modificación brusca de los cromosomas, lo que crea una barrera de esterilidad inmediata entre los individuos portadores de la modificación cromosómica y los que no la poseen. Tampoco en este caso representa el aislamiento sexual una adaptación, y no está promovido por la selección natural. En resumen, dejando aparte los detalles, las teorías modernas de la especiación (*Mundo Científico*, n.º 12, marzo 1982) admiten que la selección natural no crea las especies, en el sentido de que no interviene en la creación de dos comunidades reproductoras a partir de una.

Las consecuencias de esta conclusión son realmente de gran alcance, ya que ahora tenemos una teoría del cambio genético y una teoría del origen de las especies nuevas, ambas relacionadas, pero no idénticas; la primera trata de la modificación de las adaptaciones de las especies; la segunda, de la sucesión de las especies, sucesión que engendra los géneros, las familias, los órdenes... existentes en la actualidad o que hayan existido en el pasado. Darwin había definido la evolución como una «descendencia con modificación». La teoría sintética, con su aproximación reduccionista, había confundido modificación y descendencia. En este marco, la modificación (las adaptaciones) de las especies se había convertido en el único tema de interés, considerándose a la descendencia como una simple consecuencia de la modificación. Ahora estamos en condiciones de ver que «descendencia» y «modificación» son dos aspectos distintos en la teoría evolutiva.

Admitido esto, la cuestión que se plantea es saber cuál es el cambio que supone en la explicación de la evolución de las especies. Pues son muchas las cosas que cambian. Consideremos, por ejemplo, el problema de la tasa evolutiva. Observando las series de fósiles, los paleontólogos están en condiciones de apreciar las velocidades de evolución de ciertos caracteres en las estirpes evolutivas, por ejemplo, la velocidad con que ha aumentado la altura de la corona dentaria en la estirpe de los antepasados del caballo, la de ornamentación creciente de una determinada concha, o hasta la de aumento del diámetro del caparazón silícico de un protozoario radiolario (fig. 4A). También les cabe apreciar la tasa taxonómica, es decir, la velocidad de aparición de nuevas especies, de nuevos géneros, de nuevas familias, etc., por unidades de tiempo geológico (fig. 4B). Según la teoría sintética, la tasa evolutiva de los caracteres debería ser exactamente superponible a la taxonómica, ya que según esta teoría la aparición de nuevas especies es simplemente consecuencia de los cambios adaptativos. Pero si la especiación es un fenómeno distinto del cambio adaptativo, como sostengo junto con otros biólogos, las tasas evolutivas de los caracteres y las tasas taxonómicas no estarán entonces estrechamente correlacionadas. Así, se sabe de estirpes donde se produce una notable especiación. Ahora bien, en algunas de estas líneas, las numerosas especies nuevas difieren poco entre sí morfológicamente (baja tasa de evolución de los caracteres morfológicos). Éste es el caso, por ejemplo, de la estirpe del gobio (un pez de agua dulce) del Oeste de América. Por contra, otras estirpes, con abundante especiación, pueden presentar tasas elevadas de cambio morfológico: éste es el caso de los peces cíclidos de los grandes lagos del Este africano, del género *Haplochromis* (fig. 5). Pero lo contrario también es cierto: estirpes con poca especiación pueden presentar, no obstante, una gran variación anatómica (caso del pez americano *Sunfish*) o, por el contrario, muy pocas variaciones morfológicas (caso de los limulos, familia de artrópodos existente desde principios de la Era secundaria, que nunca ha comprendido muchas especies).

El desacoplamiento de la micro y de la macroevolución

Queda claro, por consiguiente, que el proceso de la especiación y el del cambio adaptativo están «desacoplados» (tomando la expresión del paleontólogo norteamericano S.M. Stanley). Ésta es una noción del todo básica para quienes en el momento actual intentan explicar la macroevolución de un modo distinto al marco clásico de la teoría sintética. Efectivamente, si las especies constituyen entidades objetivas, y si la especiación es un proceso que considerar como tal en la teoría evolutiva, el problema de la génesis de los grupos taxonómicos de elevado rango se plantea entonces de modo distinto: ahora se trata de explicar cómo las estirpes con elevada o baja tasa de especiación pueden presentar cambios rápidos o lentos de los caracteres. Se trata de saber cómo se combinan las secuencias de especiación y las secuencias de cambios adaptativos para producir en las estirpes evolutivas los fenómenos característicos de la macroevolución, por ejemplo, las radiaciones adaptativas: se trata de la observación en las series de fósiles de la proliferación rápida de especies a partir de un grupo ancestral, junto con su diferenciación cada vez más pronunciada, y de la invasión de nichos ecológicos muy variados. Los mamíferos, por ejemplo, han realizado una modificación adaptativa al inicio de la Era terciaria: en menos de 30 millones de años habían aparecido todos los órdenes de mamíferos conocidos en la actualidad, colonizando ambientes extraordinariamente variados: aire (murciélagos); mar (cetáceos); tierras desérticas o polares, etc.

Un fenómeno que se observa frecuentemente en la macroevolución permite ver cómo, en algunos casos, pueden combinarse secuencias de especiación

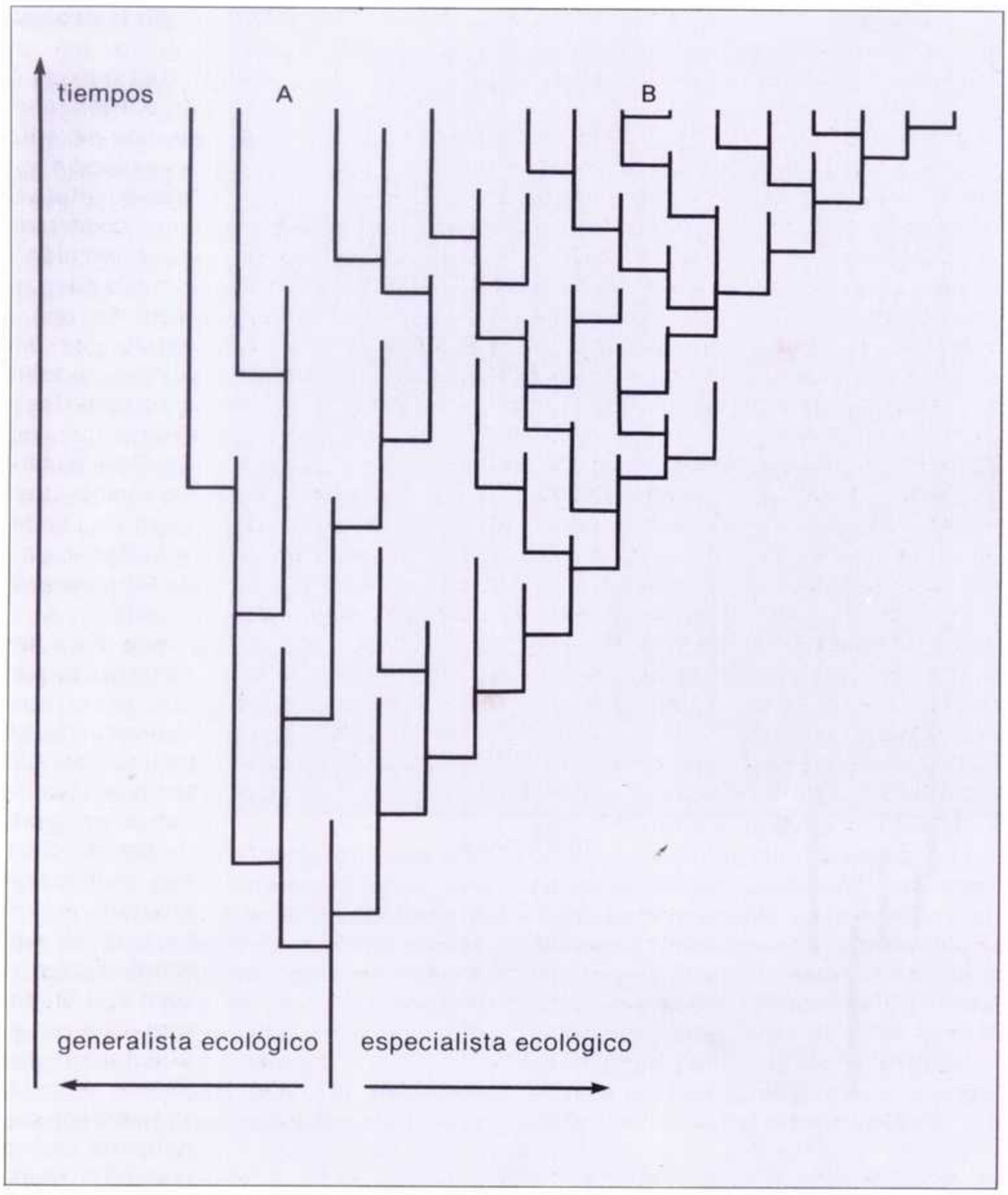


Figura 7. **Elisabeth S. Vrba ha propuesto esta explicación de la génesis de las tendencias evolutivas sin recurrir a la selección a nivel de especie. Su modelo se basa en la siguiente hipótesis: las especies que son «especialistas ecológicos» (adaptadas a ambientes muy definidos, con tipos de alimentación muy específicos) habrían surgido de fases de especiación necesariamente más frecuente que las especies de «generalistas ecológicos» (adaptadas a ambientes y alimentaciones muy diversas). Consecuentemente, el árbol evolutivo de especiación poseerá un mayor número de ramas en el lado de los «especialistas», hecho que define una tendencia evolutiva.**

y secuencias de cambios adaptativos: se trata de las tendencias evolutivas. Por ejemplo, en la línea de los antepasados del caballo, el número de dedos de las patas se va reduciendo constantemente (de cinco en los antepasados más lejanos, pasa a tres en los antepasados intermedios y a uno en el caballo moderno). Por otra parte, y continuando en esta estirpe, la corona de los dientes se hace cada vez más alta, y el dibujo de la superficie dentaria cada vez más complejo (fig. 6). La explicación clásica, adelantada por G.G. Simpson, ha sido la de que los antepasados del caballo han pasado de un medio forestal a un medio abierto y que se han adaptado progresivamente a la carrera (reducción del número de dedos) y a alimentarse de hierba (y no de hojarasca). La idea de Simpson era que la selección natural en el seno de las poblaciones de los Équidos ancestrales imponía una dirección a los cambios adaptativos en el seno de una especie *y* entre especies. Dicho de otro modo, la sustitución progresiva de individuos con coronas dentarias poco complejas (adaptación progresiva a una alimentación a base de hierbas) en el seno de las poblaciones se produciría de modo continuo, desde las especies más antiguas hasta las especies más recientes. Esto es lo que explicaría, según Simpson, que las especies más recientes tengan forzosamente las coronas dentarias más complejas. En este razonamiento resulta evidente la idea de que los cambios microevolutivos se acumulan para producir los cambios macroevolutivos, o dicho de otro modo, que las tendencias evolutivas son simple consecuencia de una selección en el seno de las poblaciones. En realidad, en numerosos casos las series fósiles no muestran ninguna tendencia evolutiva *en el seno* de las poblaciones de una especie dada (es el fenómeno de la estasis evolutiva). Por contra, a menudo se observa una tendencia evolutiva cuando se pasa *de una especie a otra*. Por lo tanto, aquí falla el argumento reduccionista según el cual la macroevolución no es sino consecuencia de la microevolución.

Una selección a nivel de especie

En 1972, S.J. Gould y yo mismo propusimos la idea de que en el momento en que una especie va a ser remplazada por otra en la línea evolutiva, varias especies-hijas nuevas son candidatas a la sucesión. Cada una de ellas posee las adaptaciones particulares a ambientes distintos y estas adaptaciones no están «orientadas» en relación con una determinada tendencia evolutiva, sino distribuidas al azar. Sin embargo, si un ambiente dado resulta más favorable a la expansión de una especie particular dotada de la correspondiente adaptación, una única especie persistirá duraderamente, mientras que las otras se extinguirán rápidamente. Si este proceso se repite en cada nueva etapa de especiación, y si es siempre el mismo tipo de ambiente el que se revela como más favorable a la expansión de una especie (y por tanto a la persistencia de una adaptación particular), el paleontólogo observará, entonces, una tendencia evolutiva en la sucesión de las especies de la estirpe (fig. 7). Habrá ocurrido una selección a nivel de especie —como ha dicho S.M. Stanley[9]— un éxito diferencial de las especies recientemente creadas en cada etapa de especiación.

E, incluso si no hay tendencia alguna en el seno de la estirpe, la tendencia evolutiva se producirá en la secuencia de sucesión. Parece ser que esto es lo que ocurrió a propósito del incremento del volumen del cerebro en la estirpe humana. Cuando se pasa de *Australopithecus* a *Homo habilis*, después a *Homo erectus* y luego a *Homo sapiens*, se produce un aumento constante del volumen de la caja craneana (véase *La Recherche*, marzo 1980); y, sin embargo, no se observa ninguna tendencia a este aumento en *el interior* de cada una de las especies.

Hay que advertir que en el modelo de selección a nivel de especie se postula explícitamente que las nuevas especies aparecen provistas de adaptación «al azar» en relación con la tendencia evolutiva que prevalecerá finalmente. Por consiguiente, las especies desempeñan aquí el mismo papel que cabe a las mutaciones de genes en el proceso de se-

(9) S.M. Stanley, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 72*, 646, 1975.

La macroevolución redistribuye la gama de especies en las líneas evolutivas.

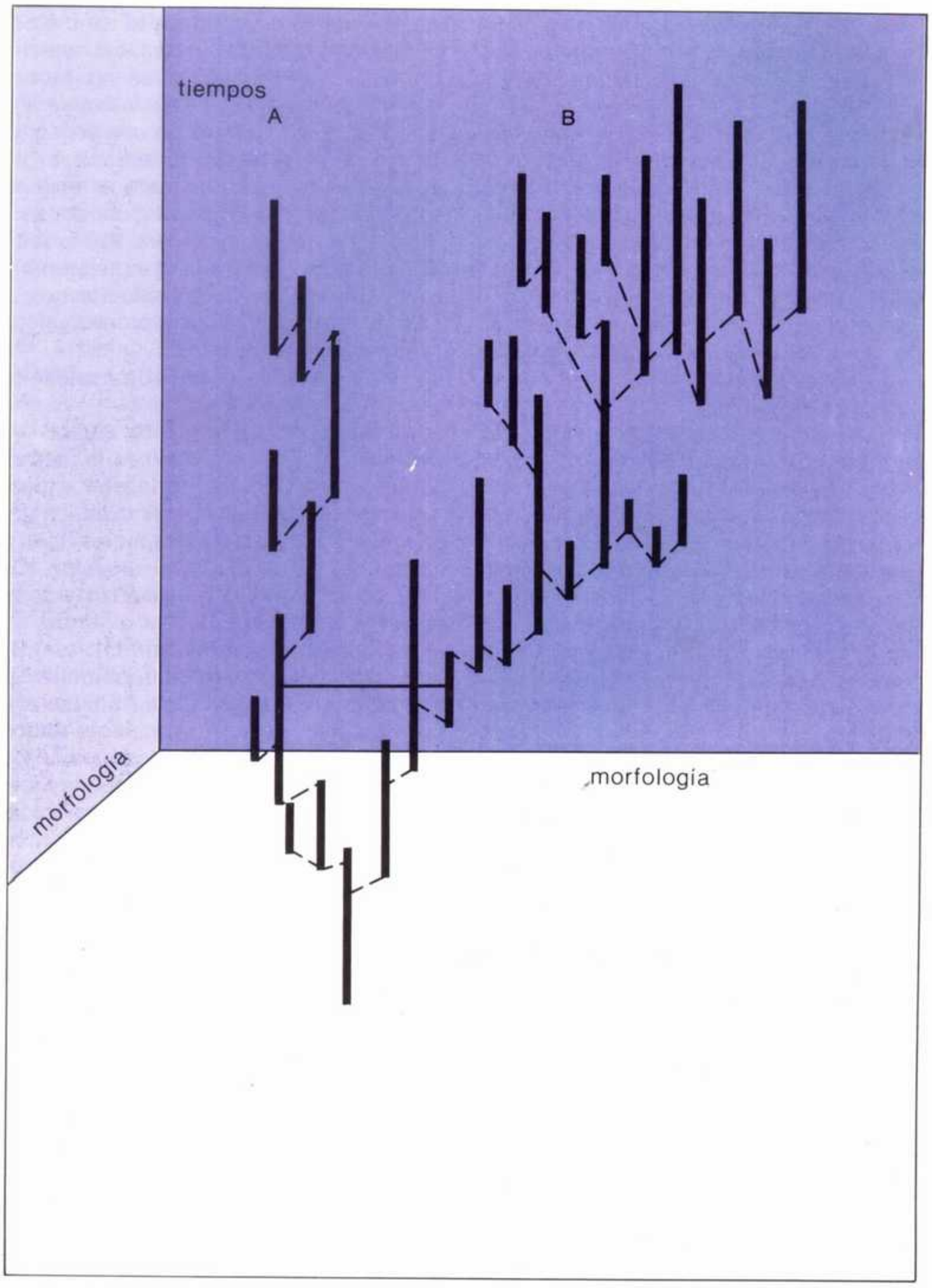


Figura 8. **Para explicar la existencia de las tendencias evolutivas de las estirpes, S. J. Gould y yo mismo hemos propuesto la idea de un éxito diferencial de las fases de especiación (selección a nivel de las especies según S. M. Stanley). Esta idea se concreta en el gráfico, en el que cada especie está representada por una raya, de longitud proporcional a la duración comprendida entre su nacimiento y su extinción. Además del eje del tiempo, se han representado dos ejes para la evolución de las especies, uno para la inflexión de los caracteres morfológicos hacia la izquierda y otro hacia la derecha. Cada especie es morfológicamente estable durante toda la duración de su existencia, de ahí el carácter vertical del trazo que la representa. Cada especie da lugar a la aparición de una especie hija por una fase de especiación indicada por trazos discontinuos. En este gráfico, una especie ancestral ocupa la base de dos líneas evolutivas (A) y (B). La línea A no presenta ninguna inflexión neta (o una inflexión muy débil) de los caracteres morfológicos después de nueve fases de especiación. La línea B presenta una tendencia evolutiva en el sentido de que los caracteres morfológicos están cada vez más desviados hacia la derecha: las fases de especiación se realizan mayoritariamente hacia la derecha. De este modo, puede haber tendencias evolutivas en las líneas aunque cada especie en particular sea estable.**

lección natural de las nuevas adaptaciones en el seno de las poblaciones: al igual que ellas, aparecen «al azar» con respecto a la dirección de la selección (hay que observar también que esta analogía entre especiación al azar y mutación al azar había sido propuesta en primer lugar por el genetista Sewall Wright en 1967,[10] reconocido como uno de los fundadores de la teoría matemática de la genética de poblaciones utilizada en la síntesis moderna).

En la evolución hay múltiples niveles

Durante los últimos cinco años ha habido otros intentos de explicar el modo en que se articulan las secuencias de especiación y las secuencias de cambios adaptativos para crear los fenómenos observados en macroevolución. ¿Qué relación hay entre especiación y cambio adaptativo? He emitido la hipótesis de que, en algunos casos, las estrategias de explotación del nicho ecológico podrían explicarla. Hay especies, como los peces cíclidos del género *Tilapia* que viven en los grandes lagos del Este de África, que son generalistas ecológicos: los peces del género *Tilapia* viven en condiciones ambientales muy variadas y son omnívoros, se alimentan de toda clase de presas de tamaño muy pequeño sin importar cuál sea su naturaleza. Este género de peces comprende un número muy pequeño de especies que, por otra parte, difieren poco morfológicamente; por el contrario, los peces cíclidos del género *Haplochromis*, que también viven en los grandes lagos africanos, en condiciones ambientales muy definidas, tienen regímenes alimentarios muy especializados (unos se alimentan de insectos; otros de peces; incluso otros de moluscos...) (fig. 5). Son «ecologistas especializados». Este género comprende más de cien especies que difieren mucho, además, por sus adaptaciones y morfologías. Por tanto, parece verosímil que las estirpes de «generalistas ecológicos» tienen tendencia a realizar menos fases de especiación y menos cambios adaptativos que los especialistas ecológicos. La paleontóloga surafricana E.S. Vrba, del Transvaal Museum, ha emitido a su vez la idea, sobre la misma base de la pobreza o de la amplitud del nicho de las especies, de que ello podría explicar cómo se forman las tendencias evolutivas en macroevolución.[11] Si se admite, dice ella, que las «especies especialistas» han surgido de fases de especiación más frecuentes que las especies «generalistas», el árbol evolutivo se inclinará entonces por su peso mayor (fig. 8).

Por ejemplo, quizá los antepasados del caballo con corona dentaria más alta han prevalecido finalmente sobre los de corona baja porque han dado lugar con mayor frecuencia a episodios de especiación debido a su carácter de «especialistas ecológicos». No ha lugar aquí para preguntarse si los antepasados del caballo con corona dentaria alta eran superiores adaptativamente a los de corona baja: en el modelo presentado por E.S. Vrba no hay necesidad de recurrir al concepto de selección a nivel de especie, por lo tanto, hay actualmente toda una serie de hipótesis diversas

(10) S. Wright, in P.S. Moorhead, M.M. Kaplan (eds.), *Mathematical challenges to the neo-darwinian theory of evolution*, Wistar Inst. Symp., *5*, 117, 1967.
(11) E.S. Vrba, *South African Journal of Science*, *72*, 61, 1980.

sobre los mecanismos de la macroevolución. Es pronto todavía para saber cuáles prevalecerán. Lo que parece seguro, por contra, es que la visión de la especie como entidad individual objetiva, bien delimitada en el espacio y en el tiempo, rompe la continuidad teórica contemplada por la teoría sintética entre los cambios en el seno de las especies y los cambios de una especie a otra. La macroevolución aparece más como una cuestión de redistribución en la gama de las especies en el seno de las estirpes evolutivas que como consecuencia del cambio adaptativo gradual. De donde, que haya como mínimo dos niveles semiindependientes en la evolución de las especies: la macroevolución y la microevolución. Pero hay más. Por ejemplo, un nivel más elevado aún que la macroevolución: es en él donde se realizan la proliferación o la extinción de varias estirpes evolutivas independientes (como, por ejemplo, la proliferación simultánea de los ammonites y de los reptiles al inicio de la Era secundaria y su extinción simultánea al final de la misma).

Fenómenos de este género son bien conocidos por los paleontólogos, pero hasta el momento, la teoría sintética no los explicaba del todo o, por lo menos, estaba mal equipada para explicarlos. La nueva forma de ver la macroevolución debería posibilitar un mejor enfoque de estos fenómenos.

Cabe reconocer aún otro nivel de la evolución, que opera a una cota inferior a la poblacional: el de la biología del desarrollo a nivel de individuo (se trata de ver cómo las vías del desarrollo son modificadas de manera que las estructuras adultas muestren cambios evolutivos: por ejemplo, el bebé chimpancé tiene una morfología facial mucho más parecida a la humana de lo que lo es la del chimpancé adulto).

Por consiguiente, lo que importa reconocer es que hay numerosos niveles de evolución semiindependientes, cada uno de los cuales posee su propia categoría de fenómenos; y éstos deben ser explicados por sí mismos, no se debe intentar reducirlos a los términos de los niveles subyacentes.

Las anteriores tentativas para distinguir la macro de la microevolución, como las de Goldschmidt (véase cuadro), habían sido en forma de alternativa a la teoría del cambio adaptativo, pero esta alternativa continuaba siendo reduccionista. La verdadera y reciente novedad, que no tiene equivalente en las discusiones que se han sucedido en estos últimos cincuenta años, es como hemos visto, el concepto de una evolución que se desarrolla de manera compleja en varios niveles semiindependientes.

Desde el momento en que las investigaciones recientes en macroevolución han puesto el acento sobre la noción de especie y sobre la importancia de las categorías jerárquicas de nivel superior estimo que, por fin, la teoría de la evolución va a poder explicar mejor el origen de la diversidad del mundo viviente. ■

Para más información:

■ W. J. Bock, «The synthetic explanation of macroevolutionary change. A reductionistic approach», en J. H. Schwartz, H. B. Rollins (eds.), *Models and methodologies in evolutionary theory, Bull. Carnegie Mus. Natural History*, p. 20, 1979. Argumentación sólida (pero técnica) en favor de las opiniones reduccionistas de la «síntesis moderna» sobre el tema de la macroevolución.

■ N. Eldredge, J. Cracraft, *Phylogenetic patterns and the evolutionary process. Method and theory in comparative biology*, Columbia University Press, 1980. Este libro examina desde un punto de vista técnico y crítico la estructura reduccionista de la teoría de la macroevolución en la «síntesis moderna» y desarrolla las nuevas concepciones sobre la macroevolución, esbozadas en el presente artículo.

■ E. Mayr, W. B. Provine (eds.), *The evolutionary synthesis: perspectives on the unification of biology*, Harvard University Press, 1980. Este libro, que reúne las contribuciones de numerosos autores, presenta la historia de la fundación de la teoría sintética de la evolución, abundando en ella con gran detalle.

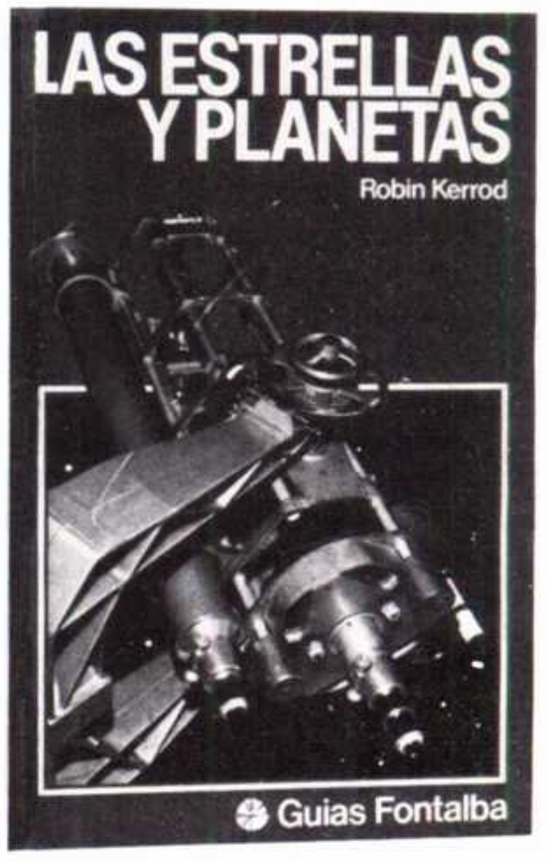
■ S. M. Stanley, «*The new evolutionnary timetable*», Basic Books, 1981. Obra de divulgación que desarrolla de manera exhaustiva las ideas del autor en favor del modelo de evolución por equilibrios intermitentes.

■ N. Eldredge, I. Tattersall, «*The myths of human evolution*», Columbia University Press, de aparición en setiembre 1982. Libro que acomete contra el mito de la evolución lenta y gradual, y examina cómo el modelo de los equilibrios intermitentes explica la evolución humana.

■ Las revistas *Evolution* y *Paleobiology*, sobre todo esta última, han publicado artículos a favor o en contra de la visión reduccionista de la teoría sintética en materia de macroevolución, así como también artículos a favor de los nuevos enfoques de la macroevolución.

LAS ESTRELLAS Y PLANETAS

Robin Kerrod



El libro que presentamos al lector es un compendio rigurosamente científico y documentado del estado actual de los conocimientos astronómicos y astrofísicos. Las modernas hipótesis sobre el origen y evolución del Universo, el estudio de las estrellas, las nebulosas y las galaxias, así como un examen detallado de nuestro Sistema Solar, completan la temática de esta guía, escrita con un lenguaje sencillo y acompañada de esquemas y diagramas que sirven de contrapunto para su mejor comprensión.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P.: 725 pts.

Pídalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

VALENCIA, 359 - 6.º 1.ª
BARCELONA-9 (ESPAÑA)

Libros

David E. Metzler,
Bioquimica.
Las reacciones químicas
en las células vivas,
1156 pp. OMEGA, Barcelona, 1981.

Esta obra presenta un extenso panorama de la Bioquímica. La intención manifiesta del autor ha sido organizar el material bioquímico en relación con los diversos tipos de reacciones químicas de la célula, en vez de distribuirlo en torno a compuestos específicos, como las proteínas, los ácidos nucleicos, los carbohidratos y los lípidos. Ello comporta, en ocasiones, una clasificación de los temas poco convencional; a modo de ejemplo, la inclusión de la fotosíntesis y del proceso de la visión en un mismo capítulo, que está dedicado a la Luz en Biología. El material especializado o complementario es presentado en cuadros, cuya relación con el texto principal está facilitada por abundantes citas. Cada capítulo incluye referencias de libros de consulta y de artículos destacados.

La Termodinámica y el estudio de las fuerzas que actúan entre las moléculas son desarrollados en dos capítulos. Dentro de la enzimología, los coenzimas reciben un tratamiento exhaustivo. El metabolismo está adecuadamente descrito en cuatro capítulos. La regulación del metabolismo es mencionada a lo largo del estudio de las vías metabólicas; sin embargo, se hecha en falta un tratamiento de conjunto de la integración general del metabolismo y de las interrelaciones de los órganos. La genética bioquímica, las membranas, el desarrollo y la neuroquímica son tratados con profundidad. Algunas técnicas entre las más usadas en Bioquímica, como el uso de trazadores isotópicos y el radioinmunoensayo, son objeto de una breve pero clara introducción.

Los aspectos biológicos y fisiológicos son tratados adecuadamente, en ocasiones incluso destacados. A pesar de ello la orientación general resulta marcadamente química, cualidad que contribuye a caracterizar esta obra frente a otros tratados de Bioquímica de similar amplitud.

Esta obra puede ser considerada como uno de los tratados de Bioquímica General más completos. Contiene gran cantidad de información, cuyo manejo está facilitado por un índice de materias y un sistema interno de referencias muy bien elaborado. Los diagramas y fotografías son excelentes. El texto es riguroso y fácil de leer. Es una obra altamente recomendable, sobre todo a estudiantes avanzados.

Pere Suau.

El científico español ante su historia. La ciencia en España entre 1750-1850,
(Actas del I Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias),
583 pp. Diputación Provincial de Madrid. 1980.

En el año 1935 la Asociación de Historiadores de la Ciencia Española publicó el libro *Estudios sobre la Ciencia Española del siglo XVII*. En el prólogo, D. Niceto Alcalá Zamora indicaba que el problema a resolver por este colectivo era la mayor o menor «contribución de la ciencia española a la ciencia universal». También consideraba que aquel año ofrecía una coyuntura histórica apropiada para iniciar la solución de dicho problema.

En 1978, 43 años después, se celebró en Madrid el I Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias. Esta sociedad, todavía joven, cuenta en la actualidad con un número elevado de socios, en su mayoría cultivadores de la investigación en la historia de las diversas disciplinas científicas. Aun cuando el problema que señala Alcalá Zamora surge de manera frecuente en la discusión de los historiadores de la ciencia en España, puede decirse que es trivial, si se compara con cuanto queda por hacer en este terreno, pues en el fondo sólo sirve a los apologistas o a los detractores de nuestra cultura científica. El objeto de estudio sigue siendo el mismo, es decir, los hechos históricos relacionados con la actividad científica en España; pero los objetivos de los historiadores son distintos, así como en cierta medida la metodología empleada. Ya no se trata de estimar si aquí hubo o no ciencia, cuya respuesta afirmativa o negativa originó la llamada «polémica de la ciencia española», sino de valorar la propia actividad científica en nuestro país y en las distintas épocas en un contexto más general. Este tipo de estudio no sólo contribuirá al conocimiento de la historia total de España, sino que también será material de investigación para la formación de los historiadores de la ciencia españoles. En cuanto al momento actual cada cual puede hacer las valoraciones o paralelismos que más le convengan; sin duda, nada tiene que ver con el de 1935.

El científico español ante su Historia
La Ciencia en España entre 1750-1850

I Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias

DIPUTACION PROVINCIAL DE MADRID

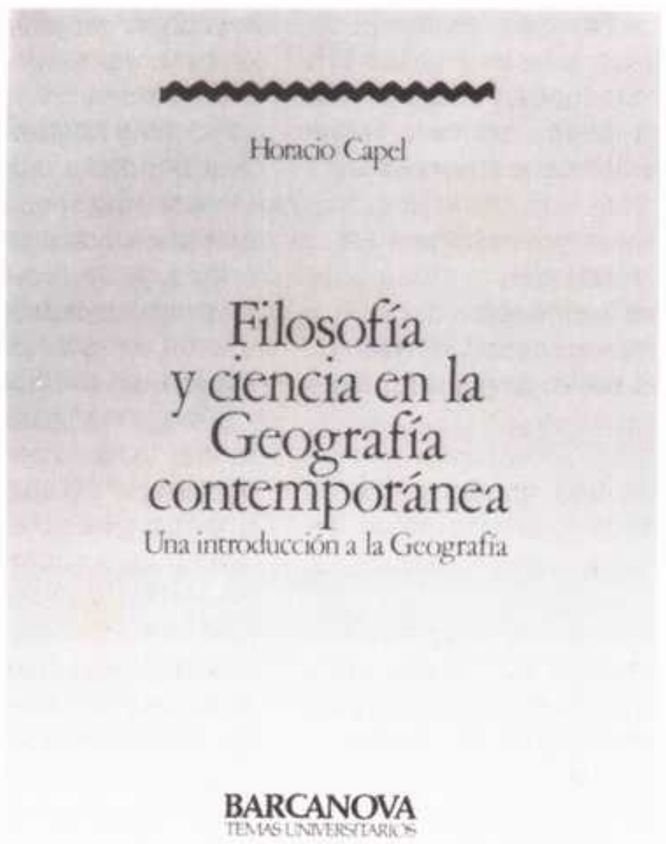
El libro en cuestión contiene 31 trabajos sobre la historia de la actividad científica en España de 1750 a 1850. Este periodo comienza y termina en dos fechas no muy significativas, pero en estos 100 años se incluye el periodo de finales de siglo XVIII y principios del XIX que por lo que hace a nuestro país, encierra las claves de cambio, también científico, del antiguo al nuevo régimen. También incluye 10 ponencias sobre aspectos relacionados con la historia y la filosofía de la ciencia. Estos temas siempre son bien acogidos entre los historiadores de la ciencia, ya que plantean aspectos metodológicos y tratamientos epistemológicos, tan necesarios para la correcta interpretación de los hechos históricos científicos. Todo lo anterior va precedido de los trabajos de A.C. Crombie, y de R. Taton y P. Costabel, investigadores franceses estos últimos, que contribuyeron con sendas ponencias, de las que procede destacar, en la de Taton, la importancia de la correspondencia de los científicos en el estudio de los contextos de descubrimiento y de justificación, y en la de Costabel, la «indexación» de los textos científicos clásicos, labor de máxima trascendencia a la hora de cuantificar y valorar tanto la aparición de nuevos vocablos científicos como la introducción de novedades conceptuales.

El capítulo dedicado al científico español ante su historia no es lo suficientemente amplio como para constituir una, tan necesaria, historiografía de la ciencia en España. Sin embargo, apunta a la necesidad de valorar adecuadamente los objetos, métodos, utilidad y fuentes bibliográficas de los diferentes trabajos que al respecto se han realizado y se realizan.

Los capítulos dedicados a la ciencia española entre 1750 y 1850 y sobre Historia y Filosofía de la Ciencia comprenden estudios específicos de gran interés, aunque la heterogeneidad de los mismos hubiera necesitado la inclusión de algún trabajo integrador que diera una visión general, al menos en lo relativo a la ciencia, en el cambio de régimen.

El rigor de los trabajos es considerable en la mayoría de los casos, y éste es, sin duda, un buen comienzo para lograr la profesionalización de los historiadores de la ciencia en nuestro país, ya que la mayoría de los autores, siendo excelentes historiadores, han de ganarse la vida en otras actividades, casi siempre alejadas de su especialidad. En conclusión, podemos decir que se trata de un buen libro que después de muchos años, enlaza con un problema («la contribución de la ciencia española a la ciencia universal») en cierta medida ya superado, y que abre nuevas perspectivas para reinterpretarlo debidamente. De igual manera, este conjunto de trabajos representa esa necesaria aportación de trabajos de base para el esclarecimiento de nuestra propia Historia total.

Joaquín Fernández Pérez.



Horacio Capel,
Filosofia y ciencia en la Geografia contemporánea,
Barcelona, Ed. Barcanova, 1981, 509 pp.

Si es cierto que cada generación de científicos escribe de nuevo la historia de su ciencia, la reciente hornada de geógrafos lo está haciendo con un tesón digno de encomio. Ello seguramente no es fortuito, ni fruto de una moda pasajera, sino que obedece a causas profundas: entre las ciencias que gozan de una larga tradición, como la matemática o la astronomia, la geografía es una de las pocas que se mantiene con un estatuto epistemológico inestable y que ve su futuro amenazado por lo que un comentarista ortodoxo llamaria «las ciencias afines». El lugar central que los geógrafos clásicos reservaron a su disciplina en el edificio científico al definirla como «ciencia de síntesis» está resultando un bastión difícil de defender para sus epigonos. De un lado, los avances de las ciencias naturales han restado campo al geógrafo en su estudio de la naturaleza y la Tierra; del otro, sociólogos, economistas, antropólogos y otros científicos sociales parecen poco dispuestos a aceptar el bordón del geógrafo en el análisis del hombre y las sociedades. Mucha ilusión —o grandes dosis de optimismo decimonónico— hay que tener para sostener hoy día que la geografía puede seguir siendo la «encrucijada» de las ciencias del espíritu y de la naturaleza. Los geógrafos jóvenes —y algunos no tan jóvenes— quizá han agotado una y otro y, con gran realismo, parecen decididos a revisar los fundamentos teóricos de su disciplina. En esta tarea cobra gran importancia la revisión histórica de la propia tradición científica, y no por pasión erudita, sino como un elemento absolutamente imprescindible, en el esclarecimiento conceptual y metodológico del quehacer científico.

En este contexto de un debate científico abierto, Horacio Capel nos ofrece una obra sobre la evolución de la geografía contemporánea, que como mínimo hemos de calificar de oportuna, valiente y necesaria. Oportuna por el acopio de información que nos brinda (de la que pueden dar una idea las más de mil notas que el libro contiene), que sin duda ayudará a enriquecer y profundizar la polémica actual. Valiente, porque tiene la virtud, bastante inusual en nuestros pagos, de exponer con claridad sus tesis y puntos de vista, arriesgándolos al debate y a la refutación. Necesaria, por ofrecer un marco analítico global en el que insertar el caudaloso y turbulento torrente del pensamiento geográfico más reciente. Pero vayamos ya con su contenido.

El libro que comentamos aparece dividido en tres partes que pueden individualizarse: la primera sección se ocupa de la aportación a la ciencia geográfica de dos autores punteros del romanticismo alemán de la primera mitad del siglo XIX: Alejandro de Humboldt y Carl Ritter. Un documentado análisis del pensamiento de estos científicos permite al autor desarrollar la idea de que pese al enorme interés de su producción, ésta influyó poco —al menos en su primer momento— en el desarrollo de la geografía moderna. Se trataría más bien de figuras aisladas, con escaso eco en la geografía de la época. Así, contrariamente a las «historias sagradas» de la disciplina, Capel rechaza el dogma de que Humboldt y Ritter sean los «fundadores» de la geografía actual. La cuestión, que pudiera parecer exclusivamente erudita, dista de serlo, ya que buena parte de los geógrafos contemporáneos han creído ver en el desarrollo de su disciplina un proceso ininterrumpido que arrancaría de las formulaciones pioneras de los geógrafos alemanes y legitimaría así su práctica actual. Frente a la tesis de esta continuidad de los presupuestos básicos de la disciplina, Capel opone la idea de que la geografía ha sufrido diversas reformulaciones con el tiempo, al paso que esta ciencia se convertía en el siglo XIX en un saber institucionalizado.

Al examen, extenso y pormenorizado hasta el detalle —se estudian escuelas geográficas prácticamente desconocidos en nuestro país, como la rusa o la rumana— de esta institucionalización de la geografía se dedica la segunda parte de la obra. El autor adopta aquí conceptos y métodos puestos a punto por la sociología de las comunidades científicas, siguiendo la senda de autores clásicos como K. Merton, Ben David o D.J. Price, para trazar una panorámica de la influencia de los factores «externos» en la consolidación de la geografía. Estudia así el papel de las Sociedades de Geografía y la exploración colonial, la importancia de los congresos científicos, la producción editorial, y especialmente, la progresiva instalación de la geografía en los planes de enseñanza de la mayoría de los países europeos en la segunda mitad del siglo XIX. La tesis principal que defiende en relación con estos problemas es que la afirmación de la geografía como disciplina escolar y la consiguiente necesidad de formar docentes para los distintos niveles de enseñanza es el factor principal —aunque no el único— que impulsa el desarrollo de la geografía decimonónica y explica los progresivos cambios de su esquema conceptual.

La última parte del libro —la más extensa y, a mi juicio, la más interesante— la dedica H. Capel a exponer la evolución del pensamiento geográfico. Considera el autor, que a partir de mediados de la pasada centuria se opera una reducción del objeto de la geografía, eliminándose temas que antes eran esenciales en esta disciplina, que en el futuro se centrará en torno a dos «problemas clave»: el «estudio de la diferenciación del espacio en la superficie terrestre», y el «examen de la relación hombre-medio». Estas dos cuestiones, que con ligeras variantes polarizarán la atención de los geógrafos, serán abordados alternativamente —y a veces de forma simultánea— desde dos grandes concepciones teóricas: el positivismo y el historicismo. El curso de las ideas científicas en geografía —según H. Capel— viene marcado profundamente por la impronta de estos grandes marcos conceptuales, en torno a los cuales se desarrollarán las principales teorías geográficas. La conclusión, ciertamente ecléctica, valora la racionalidad y coherencia de las diferentes concepciones enfrentadas y considera que el debate entre naturalistas y antipositivistas se prolonga hoy día entre los diferentes paradigmas de investigación geográfica.

Si lo dicho hasta aquí puede interesar directamente a geógrafos e historiadores de la ciencia, en mi opinión, este libro rebasa ampliamente el marco de estas comunidades para hacerse acreedor de la atención de cualquier científico social interesado por la renovación metodológica y los problemas epistemológicos de su disciplina. Y ello no tan sólo por lo que la historia de la geografía pueda tener de «ejemplar» sino porque el autor ha hecho el considerable esfuerzo de enmarcar la evolución de las ideas geográficas en el cuadro más amplio de la marcha de las teorías científicas y del pensamiento filosófico.

En suma, *Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea* es un libro bien hecho, riguroso y lúcido, que no debiera pasar desapercibido.

Luis Quiroga.

Ciencia y sociedad

A. Bombard, L. Charpenet, P. Chartier y otros,
L'énergie,
230 p., Bordas.

Agradablemente editada en formato *in quarto, L'énergie,* publicada por Éditions Bordas, se presenta ante todo como una enciclopedia que divulga los problemas y las tecnologías pertinentes a las diversas formas de la energía. En realidad, el editor dejó plena libertad a los autores, a cada uno de los cuales confió la redacción de un capítulo. De ello resulta una diversidad de estilos muy desconcertante para el que espera una obra de referencia estructurada; no obstante, la última parte del libro («les faits et les chiffres», los hechos y las cifras) es bastante completa, aunque muy densa. *L'énergie* es una recopilación de posiciones de expertos franceses, bien conocidos, por otra parte, por sus opciones políticas, industriales o energéticas. Se trata, pues, de la energía vista por el «establishment» francés. Dentro de este marco, nada tiene de extraño que Louis Néel declare que «hay que seguir manteniendo la apuesta de la energía nuclear o cambiar de modo de vida»; según este premio Nobel, esta energía «presenta riesgos inevitables pero pequeños. Asimismo, es normal que Jean Mattéoli, ex presidente de Charbonnages de France, no vea salvación fuera de una presentación que por desgracia no expone las posibilidades de

las nuevas tecnologías tanto para la explotación como para el consumo de este combustible aparentemente inagotable. Más extraño resulta que los especialistas de la energía del Partido socialista, Alain Bombard, Louis Charpenet y Paul Quilès —encargados de exponer la hidroelectricidad y la energía de los mares— hayan optado por una exposición divulgativa al estilo de las enciclopedias para ingenieros. Para Haroun Tazieff, la fuente que garantiza la independencia francesa es la geoermia. Más prudentes en sus conclusiones son respectivamente Philippe Chartier, Jean-Pierre Girardier y Guy Cunty por lo que hace a la biomasa, la energía solar y la eólica, autores que ya han experimentado sobre el terreno los límites de las fuentes de energía renovables en favor de las cuales militan.

Pocas contestaciones, pues, en estos textos; las «perspectivas y prospectivas» constituyen el objeto de una segunda parte (Robert Lattès, Bertrand Goldschmidt, Bertrand de Jouvenel), en la que Roger Garaudy da rienda suelta a su crítica del mundo industrial, cuyo desarrollo fue permitido gracias a las fuentes de energía fósil. Entre todas estas exposiciones, la que Michel Jobert dedica al petróleo y al gas domina por su altura y perspectiva; es el único que trata de forma integral la tecnología, la geopolítica, los modos de consumo y que aboga por la necesidad de la investigación en todos los campos de la producción y de la explotación de las energías.

Física

E. Elbaz,
Interactions fondamentales et structure de la matière,
224 p., Hermann.

La gran preocupación actual de los físicos teóricos es llegar a unificar las cuatro interacciones fundamentales que gobiernan las leyes de la naturaleza. Era, pues, normal que uno de los sectores de esta investigación quisiera hacer una presentación unificada de estos problemas, con excesiva frecuencia considerados como totalmente distintos por los estudiantes y por algunos profesores. Tenemos ahí un ensayo muy interesante, ya que el lector se ve conducido en él a una visión global de la física, donde encontrará reunidos conceptos que suelen hallarse dispersos en diferentes libros. Pero, contrariamente a los deseos del autor y del editor, no creemos que pueda ser fácilmente abordado por todos los estudiantes. La forma de presentación elegida por E. Elbaz es ciertamente interesante y original, pero exige de parte de los lectores un buen conocimiento preliminar de la física. Si algunos conceptos poco familiares a los estudiantes (tales como la teoría de la medición) están claramente presentados, no sucede lo mismo con otros; así, el concepto de constante de conexión, elemento básico de la demostración, podría haberse tratado más explícitamente. El esfuerzo pedagógico debería llevarse más lejos. Además, la presentación tipográfica no hace resaltar las frases importantes y las palabras-clave. La lectura no se ve facilitada por la elección de la misma notación para diferentes magnitudes físicas. No obstante, a pesar de sus defectos, consideramos que este libro deberían leerlo todos los físicos, no sólo los estudiantes de fin de estudios. Llevará al lector a una reflexión útil sobre las interacciones fundamentales y le hará descubrir que el protón es cien veces más pesado de lo que él había aprendido.

P. von der Hardt y H. Röttger,
Neutron radiography handbook.
Commission of European communities, nuclear science and technology,
170 p., Reidel.

Si la radiografía fue una de las primeras aplicaciones de los rayos X, el empleo de los neutrones para analizar la composición en un objeto se desarrolló mucho más lentamente. No fue hasta 1960 cuando la radiografía por neutrones recibió realmente su impulso, hoy se ha convertido en una técnica poderosa de análisis de los materiales y de las estructuras. Este libro, redactado por un grupo de trabajo organizado por la Comisión de las comunidades europeas reúne todas las informaciones indispensables para quien desee abundar en esta técnica. La física de los fenómenos neutrónicos, las fuentes de neutrones ilustraciones y cuadros, al igual que las normas y los patrones de referencia. Este libro viene a completar útilmente la bibliografía, todavía pobre, de las técnicas de análisis que utilizan los métodos nucleares.

C.F. von Weizsäcker,
The unity of nature,
406 p., Farrar-Strauss-Giroux.

Alumno de Bohr y de Heisenberg, aunque sin la talla científica de éstos, C.F. von Weizsäcker, nacido en 1912, ha contribuido en forma notable a los progresos de la física nuclear y de la astrofísica, interesándose en estos dos últimos decenios, sobre todo en la filosofía de la naturaleza. Sus escritos sobre estos temas han tenido muy buena acogida, en particular en los países de habla alemana. La presente obra reúne sus principales contribuciones en este campo. El título resulta un tanto equívoco, puesto que el libro sólo trata muy parcialmente de la unidad de la materia; por otro lado, de un modo bastante discutible. En todo caso, se echará de menos la unidad de este libro, hecho de escritos bastante dispares que datan sobre todo de los años 1960. Además, si los puntos de vista interesantes no faltan en la obra (concepto de objeto, indeterminismo, crítica pertinente de Popper...), se encuentran en ella demasiadas consideraciones someras, cuando no poco originales.

Biología

P. Meyer,
L'homme et le sel,
174 p., Fayard.

En un mínimo de páginas, el autor hace participar al lector de la apasionante historia de la sal y de las relaciones entre el hombre y ésta, a propósito de la hipertensión arterial. Tomando como pretexto sus notables trabajos sobre la influencia de la sal en la hipertensión arterial, bosqueja un cuadro del comportamiento ambivalente del hombre con respecto a este condimento. Esta obra no va destinada solamente a las personas deseosas de ilustrarse sobre un punto importante de la historia de la humanidad, sino también al médico práctico. En efecto, este último no siempre está abierto a las hipótesis recientes sobre las complejidades de la influencia de la sal en el origen de la hipertensión arterial; y, por otro lado, como subraya el autor, una buena educación del público se basa en una buena educación del médico.

Tras una historia abreviada, pero apasionante, del hombre, el autor nos muestra el fenómeno del «hambre de sal» instintiva, muy intensa, que no es lo mismo que el «gusto de la sal» que aparece después de la iniciación. El descubrimiento de la sal fue una baza esencial en la edificación del bienestar del ser humano. Siguen luego capítulos, cuya lectura resulta apasionante, sobre las luchas por la sal, su «simbolismo», la «sal a profusión», y las «gracias y desgracias políticas de la sal». Este último capítulo es una magnífica novela de aventuras, que expone lo «real» y lo «vivido» de la humanidad. La última parte de la obra es una exposición muy clara, para el no médico, de la hipertensión arterial, aunque a muchos médicos les encantaría su lectura para clarificar las ideas.

Algunas citas y algunas frases del autor «dan en el blanco», por ejemplo, la frase de Alfred Sauvy: las estadísticas son «a la vez penosas por un lado y peligrosas por el otro»; del autor: «las incertidumbres de la medicina deben admitirse, en realidad, sin acritud, ya que reflejan el carácter evolutivo del conocimiento biológico». En el capítulo sobre «la evolución de la medicina», Philippe Meyer entreabre una ventana sobre las incertidumbres de la prevención, y sobre todo, recuerda que la prevención selectiva debe apoyarse, aún hoy, en la clínica.

Este bellísimo libro, centrado en la respuesta desigual de las personas, en el desencadenamiento de una hipertensión arterial por la sal, nos ofrece el placer de ver extenderse una acción médica hasta el infinito de la historia humana.

J.C Gaignault,
Principes de la recherche du médicament,
70 p., Editions Technique et Documentation.

Los progresos de la medicina van estrechamente ligados a la búsqueda de nuevos medicamentos. El interés de esta obra estriba en presentar en un restringido número de páginas, de manera muy sencilla y clara, los principios básicos de una investigación farmacéutica moderna. Gracias a algunos ejemplos apropiados, es fácil seguir la evolución de la estrategia desarrollada para el descubrimiento de los medicamentos. Primeramente los medicamentos de origen natural, descubiertos casi siempre de un modo fortuito, después los que surgieron de la síntesis orgánica parcial o total. Los capítulos siguientes tienen en cuenta los progresos recientes de la revolución biológica (como el concepto de receptores) para describir los métodos modernos de elaboración de nuevos medicamentos, con la consiguiente discusión de sus méritos respectivos: observaciones fortuitas, cribado farmacológico (screening), modulación molecular y concepción a priori sobre estas bases biológicas o de estructura-actividad.

Publicaciones recibidas

A pesar del reducido tamaño de esta obra, figura en ella todo lo referente a la búsqueda del medicamento: mecanismo de acción, conceptos de prodroga, de farmacóforo... Será de gran utilidad para los químicos, los farmacólogos, los toxicólogos, los clínicos que estudian o se interesan en los medicamentos, pero también para los estudiantes que encontrarán en ella mejor que en ninguna otra parte, las bases fundamentales de la investigación del medicamento y tal vez un tema para su vocación...

Ciencias humanas

L. Boulangé et J.L. Lambert,
Les autres: expressions artistiques chez les handicapés mentaux.

No es propiamente hablando ninguna novedad el interesarse en las producciones artísticas de los disminuidos mentales. Tanto más cuanto que bajo este término se esconden muchos tipos de déficits. El empleo de estas producciones con fines de interpretación o, por lo menos, a efectos de sentido, es una técnica terapéutica bastante corriente. Lo que es mucho menos corriente es considerar estas producciones como expresiones artísticas, es decir, como término que propicie una relación privilegiada con «los otros». ¿Es por esto que este álbum resulta desconcertante? Probablemente. Uno ni siquiera trata de averiguar quién pintó esas caras o construyó esas máscaras. Esas producciones nos resultan fraternales, y ello es emocionante. A partir de este momento, poco importa el texto, los autores del libro han alcanzado su objetivo: hacer menos dura la ganga de aislamiento de los disminuidos mentales.

C. Burgess,
The age of Stonehenge,
402 p., Dent.

Cierto número de obras, más o menos serias, han sido publicadas recientemente sobre el megalitismo de las Islas Británicas. La de Burgess se distingue radicalmente de ellas al no ceder al atractivo único de lo espectacular; al contrario, el autor se interesa en todos los aspectos de la vida de estas sociedades prehistóricas, desde el modo de vestirse y adornarse hasta las comunicaciones marítimas, sin descuidar los aspectos técnicos, económicos y políticos. Pero este libro importante, muy documentado y bien ilustrado, es también la obra de un investigador que pone en entredicho muchos puntos de vista tradicionales. Refutando la división clásica de «Neolítico-Edad del Bronce-Edad del Hierro», Burgess considera aquí el conjunto de los milenios III y II a. C. como un período de desarrollo autóctono continuo, y admite como postulado la existencia, desde finales del IV milenio, de una población densa de sociedades estratificadas en los territorios fijos. Es en este marco donde estudia la difusión de los rasgos culturales y técnicos, rechazando para este período la hipótesis de las migraciones.

■ Ursula Goodenough, *Genética,* 824 pp., Harvard University, traducción castellana, Ediciones Omega, Barcelona, 1981.
■ Elena Huerta y Antonio Matamala, *Programa de reeducación para dificultades en la escritura,* 62 pp., Manual para el reeducador, maestro y padres, Pablo del Río Editor, Madrid, 1981.
■ Marvin Harris, *Introducción a la antropología general,* 600 pp., Alianza Universidad Textos, Alianza Editorial, Madrid, 1981.
■ Julio B. de Quirós y Nelly D'Elia, *Introducción a la audiometría,* 316 pp., Ediciones Paidós, Barcelona, Buenos Aires, 1981.
■ Juan María Sancho Gil y Fernando Hernández Hernández, *Interacción ambiental en el parvulario,* 92 pp., Institut de Ciències de l'Educació, Universidad de Barcelona, Col·lecció Documents A 51, Barcelona, 1981.
■ *Prensa infantil y educación,* 112 pp., Seminario de Sociología de la Educación, Departamento de Pedagogía Sistemática, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1981.
■ José Toro, Wilma Penzo y Carme Basil, *Lecciones de psicología médica,* 101 pp., Departamento de Psiquiatría y Psicología Médica, Facultad de Medicina, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1981.
■ Autores varios, *La adquisición del lenguaje,* 226 pp., Monografías, Madrid, 1981.
■ *Pedralbes,* 380 pp., revista d'Història Moderna, Departamento de Historia Moderna, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1981.
■ Manuel de Aguirre, *Indagación y reflexiones sobre la Geografía con algunas noticias previas indispensables (1782),* 339 pp., Cátedra de Geografía Humana, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1981.
■ J. Aguilar Peris, *D. Julio Palacios y el lenguaje de la Física,* 45 pp., Departamento de Ciencias Aplicadas a la Ingeniería, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Santander, Aula de Cultura Científica 2, Santander, 1981.
■ *Geo crítica,* n.º 35 «Paul Vidal de la Blache entre la Filosofía francesa y la Geografía alemana», por Georges Nicolas-O, Facultad de

ASCLEPIO
Archivo Iberoamericano de Historia de la Medicina y Antropología Médica — volumen XXXIII — año 1981

Instituto "Arnau de Vilanova" de Historia de la Medicina
Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Madrid

Geografía e Historia, Universidad de Barcelona, Barcelona, setiembre de 1981.
■ *ICE,* «Psicomotricitat i expressió corporal», Programació escolar de tres a nou anys, Edicions i Publicacions Universitat de Barcelona, Barcelona, 1981.
■ Aula de cultura científica, Cátedra de Fundamentos Físicos de las Técnicas, Universidad de Santander, Memoria del curso 1979-1980.
■ ICME, Institut Català de Mineralogia i Gemmologia, Circular n.º 32, «Ifira de minerals i fòssils a Vic», Barcelona, noviembre-diciembre 1982.
■ *Acta Historica et Archaeologica Mediaevalia,* Departamento de Historia Medieval, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Barcelona, Barcelona, 1981.
■ *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía,* n.º 3, Madrid, junio 1981.
Metodología de la Historia de las Ciencias, I Simposium, Sociedad Española de Historia de las Ciencias, Universidad Complutense, Madrid, octubre, 1981.
■ *Geo crítica,* n.º 37, «Poder municipal y espacio urbano», Cuadernos críticos de geografía humana, Cátedra de Geografía Humana, Universidad de Barcelona, enero 1982.
■ *La psicología genètica de Jean Piaget,* volumen de homenaje al profesor Jean Piaget, Sección de Psicología de la Universidad de Barcelona, Barcelona, 1981.
■ *Arrel,* «El Baix Llobregat», revista editada por la Diputació de Barcelona, n.º 2, enero-abril 1982.
■ *Mientras tanto,* n.º 10, 127 pp., publicación bimestral, Barcelona, diciembre 1981.
■ *Geo crítica,* n.º 36, «La didáctica de la Geografía: diez años de evolución», Cuadernos críticos de geografía humana, Cátedra de Geografía Humana, Universidad de Barcelona, Barcelona, noviembre 1981.
■ Guy Cunty, *Aeromotores y Aerogeneradores,* 182 pp., guía de la energía eólica, Ediciones Marzo 80, Barcelona, 1980.
■ Christopher Evans, *El fabuloso micro procesador,* 294 pp., Editorial Argos Vergara, Barcelona, 1981.
■ *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía,* n.º 2, febrero, Madrid, 1979.
■ Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía, n.º 0. 63 pp., Sociedad Española de mineralogía, Madrid, junio de 1978.

Manifestaciones científicas

Lista parcial de los coloquios internacionales del CNRS.

Verano 1982 — Estrasburgo
Los ligantes macrociclicos.

Julio 1982 — Lyon
Los reactivos soportados en química orgánica.

19-21 julio — París
La historia de la física de las particulas durante el periodo 1930-1960.

Septiembre — Clermont-Ferrand
Dinámica del manto superior.

16-18 septiembre — Lyon
Estudio de las interacciones metal-soporte en la catálisis heterogénea.

Diciembre — La Martinica
Física y química de los metales sintéticos y orgánicos.

6-9 julio — París (Francia)
1ª Conferencia internacional de los entomólogos de habla francesa.
Soc. entomologique de France, 45 rue Buffon, 75005 Paris.

---

julio — Tokio (Japón)
5º congreso internacional sobre plaguicidas químicos.
Tomomasa, Misato, Instituto de Investigaciones de Física y Química, 2-1 Hirosawa, Wakoshi, Siatama 351, Japón.

11-16 julio — Tokio y Lake Yamana (Japón)
5º congreso internacional sobre tejidos vegetales y cultivo celular.
Masatoshi Iwata, Facultad de Agricultura, Universidad de Tokio, Bunkyoko, Tokio 113, Japón.

14-18 julio — Chicoutimi (Quebec)
Congreso francófono sobre la ciencia-ficción y lo fantástico.
Gleider Hernández, Dept. des arts et des lettres, Université du Quebec, 930 Est rue Jacques Cartier, Chicoutimi, Quebec, Canadá G7H 2BI.

19-24 julio — París (Francia)
1er congreso europeo sobre biología celular.
Círculo francés de biología celular, 67 rue Maurice Günsbourg, 94200 Ivry sur Seine, Francia.

21-26 julio — Ciudad México (México)
4º coloquio sobre paleobotánica y palinología.
Eloy Salas, Instituto mexicano del petróleo, Av. Cien Metros, 152, Apartado Postal 14-805, México 14, D.F.

21-30 julio — Nottingham (Gran Bretaña)
Aplicación tecnológica y conexión social de la ciencia que enseñamos.
Prof. G.B. Harrison, National.
Centre for School Technology Trent Polytechnic, Nottingham, Gran Bretaña.

27-30 julio — Pretoria (Sudáfrica)
Simposio internacional sobre toxinas y lectinas
Mrs. du Plessis, CSIR, International Relations Division, P.O. Box 395, Pretoria 0001, África del sur.

Agosto 1982 — Bruselas (Bélgica)
3er Congreso internacional de auxología (crecimiento humano y desarrollo).
Dr. Roland Hauspie, Free University Brussels, Labor. human genetics, Pleinlaan 2, 1050 Bruselas.

---

2 agosto-10 septiembre
Tendencias actuales en física atómica.
Progresos recientes en teoría de campos.
Ecole d'été de physique, Côte des Chavants, 74310 Les Houches, Francia.

---

agosto — Viena (Austria)
17º congreso de la organización internacional para el estudio de las plantas suculentas.
Mr. Brinson, 127 Brook Street, San Carlos, California, 94070, EE.UU.

4-6 agosto — Seattle, Washington (USA)
2ª conferencia internacional de aerobiología.
R.L. Edmonds, College of Forest Resources, Washington University, Seattle, WA 98195, EE.UU.

5-11 agosto — Montreal (Canadá)
3ª convención de paleontólogos norteamericanos (NAPC-III).
Colin Stearn, Depto. of Geological Sciences, McGill Univ., 3450 University Street, Montreal H3A 2A7, Canadá.

7-14 agosto — Otawa (Canadá)
Congreso internacional de parasitología.
Dr. Mettrick, Depto. of Zoology, Ramsey Wright, 25 Harbord Street, Toronto M5S 1A1, Canadá.

8-13 agosto — Boston (EE.UU.)
13º congreso internacional de microbiología.
Mr. R.W. Sarber, 1913 I Street NW, Washington DC 20006, EE.UU.

8-14 agosto — Ames, Iowa (EE.UU.)
79ª reunión anual de la sociedad americana de horticultura.
701 North Saint Asaph Street, Alexandria, VA 22314, EE.UU.

8-14 agosto — Newfoundland (Canadá)
1er congreso internacional de ficología.
Prof. G.R. South, Memorial Univ. of Newfoundland, St. John's Newfoundland, Canadá A1B 3X9.

9-13 agosto — Boulder Co. (EE.UU.)
9º congreso de la unión internacional para el estudio de los insectos sociales.
Dr. M. Breed, EPO Depto. of Biology, University of Colorado, Bouler, CO80309, EE.UU.

15-21 agosto — Perth (Western Australia)
12º congreso internacional de bioquímica.
Prof. W.J. Whelan, P.O. Box 016129, Miami, Florida 33101, EE.UU.

16-25 agosto — Moscú (URSS)
18º congreso internacional de ornitología.
Prof. V. Llychev, Ringing Centre 117312, Fersman St. 13, Moscú, URSS.

17-24 agosto — Hamburgo (R.F.A.)
10º congreso internacional sobre microscopia electrónica.
Dr. Schimmel, Batelle Inst. Postfach 900160, 6 Frankfurt M-90, R.F.A.

22-26 agosto — Tokio (Japón)
7º congreso de endocrinología de Asia y Oceania.
Dr. H. Demura, Kawada-cho, Shinjukuku, Tokio 162, Japón.

22-27 agosto — Coventry (Gran Bretaña)
9º coloquio internacional sobre nutrición vegetal.
Dr. B.J. Greenwood, National Vegetable Research Centre, Wellesbourne, Warwick CV 35 9EF, Gran Bretaña.

22-27 agosto — Otawa (Canadá)
21ª asamblea general del IUBS y simposio científico.
IUBS, 51, Bd. de Montmorency, 75016 París, Francia.

23-26 agosto 1982 — Puebla (México)
Primera Reunión Latinoamericana de las Ciencias.
Dr. Juan José Saldaña, presidente del Comité Organizador Mexicano. Apartado postal 21-873, 04000 México, D.F.

---

29 agosto-4 setiembre — Hamburgo (R.F.A.)
21º congreso internacional de horticultura.
Hamburg Messe und Congress GmbH, P.O. Box 30 23 60, D-2000 Hamburgo 36, República Federal de Alemania.

---

30 agosto - 3 septiembre — Toulouse (Francia)
5º Simposio de estadística informatizada.
Compstat 82, Lab. de statistique et probabilités, Unic. Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex, Francia.

---

agosto-setiembre 1982 — Barcelona (España)
Cursos intensivos de verano para docentes.
Patronato del Instituto Químico de Sarriá. Fundación «Roser Pujades». Barcelona-17. Tel. (91) 203 89 00.

1-11 setiembre — Erice (Italia)
Taller sobre biología molecular.
Orio Ciferri, 1ª microbiología y fisiología vegetal, Via S. Epifanio 14, 27100 Pavia, Italia.

2-8 setiembre — Polonia
Congreso internacional de ecología.
Prof. S. Ulfstrand, Sec. Gen, INTECOL, Box 561, S-751 22 Upsala, Suecia.

21-23 setiembre 1982 — Granada
XVIII Jornadas Luso-Españolas de Genética.
Departamento de Genética, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada.

4-8 julio 1983 — Santiago de Compostela (España)
III Congreso de Antropología Biológica de España.
Comité de organización: Departamento de Antropología, Facultad de Biología, Universidad de Santiago de Compostela (España).

MUNDO CIENTIFICO

LA RECHERCHE, *versión en castellano* N.º 16

700 **GRAVITY-FREE BIOLOGY,** by Hubert Planel.
In outer space the absence of gravity causes various difficulties. Although man rapidly acclimates to new conditions, the limits of human adaptation are poorly undestood. What will happen to humans during stays of several years in space?

712 **ELIXIRS FOR LONG LIFE,** by Antoine-Louis Lecocq.
Until recently uric acid has had a bad reputation as the cause of gout. Today, it seems to protect us from cancer. Better still, it might be an effective agent against aging.

714 **MEDITERRANEAN CETACEANS,** by Adrià Casinos.
Nineteen species of cetacean have been recorded in the Mediterranean Sea. What will they became?

726 **ANOMALIES OF WATER,** by C. Austen Angell.
After two hundred years of research the anomalies of water are just beginning to be explained. But one question remains: why did nature guard the strangest properties fot the most abundant of liquids?

738 **THE «SQUID» s,** by Brian W. Petley.
Since the discovery of superconductivity and the Josephson effect, a great number of applications have been rapidly developed. Among them, the development of the SQUIDs, probes designed to measure extremely weak magnetic fields, has opened new horizons in metrology and medicine.

750 **DOSSIER: MYTH AND SCIENCE**
Constructions of the human spirit, by John Maynard Smith.
Between myth and science, ethics, by Paul Valadier.
Ideology and truth, by Evry Schatzman.
What are the relations between mythic and scientific thought? Three different viewpoints enable us to understand better the meaning and risks in this highly controversial question.

762 **THE NUMERICAL VIDEODISC,** by Gérard Couturier.
The numerical optical disc, immediate descendant of the videodisc, plays a key role in automatic storage. On one disc the equivalent of twelve meters of bookshelves can be memorized.

766 **ULTRAFAST X-RAY MOVIES,** by Francis Jamet.
Researchers have developed an X-ray camera that takes 40 milions images per second, and which will revolutionize completely some fields.

773 **OPEN FORUM:**
Analysis of the biomedical research in Spain, by Jesús Sebastián.

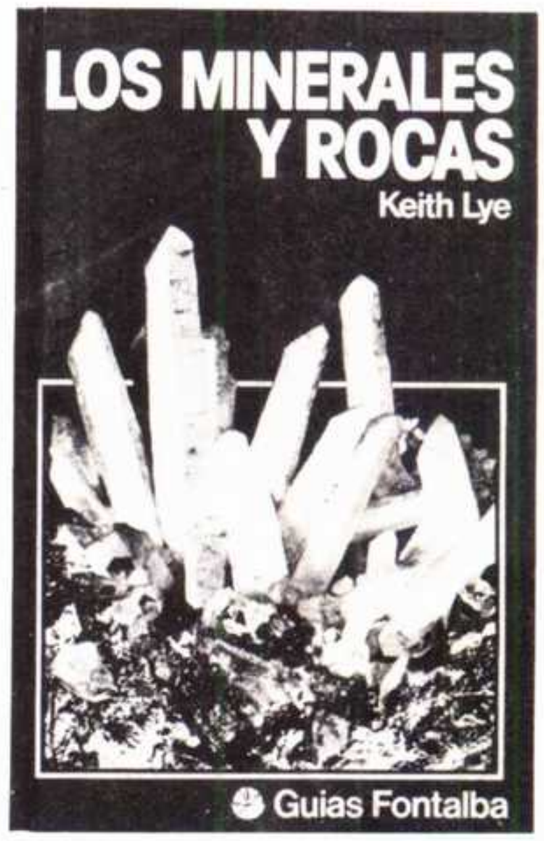
780 **MAYAN ASTRONOMY,** by Anthony F. Aveni.
Archeo-astronomy, with the aid of information derived from the codex and the study of Mayan architecture, now offers us a voyage through time to the origins of Mayan religion.

788 **THE EXTINCTION OF SPECIES TODAY,** by Paul Hopkins and Marcel Blanc.
The creation and maintenance of natural reserves are now necessary to help avert a new ecological catastrophe in the making: the extinction of a majority of the large mammals and birds.

792 **MACROEVOLUTION,** by Niles Eldredge.
For many biologists today, the large-scale evolution of the major groups of animals can be explained by mechanisms different from those governing the small-scale evolution within natural populations.

LOS MINERALES Y ROCAS

Keith Lye



El lector encontrará en esta guía científica una información cuidadosamente seleccionada sobre las características de los distintos tipos de rocas y minerales existentes en nuestro planeta, además de sus aplicaciones prácticas en el terreno de la joyería.
Una guía exhaustiva de los minerales importantes y otra de las rocas más destacadas completan el material presentado con absoluto rigor y con un estilo sencillo, que facilita su comprensión.

Formato: 13,5 × 20 cm
Páginas: 128 en cartoné
Fotografías e ilustraciones a todo color

P.V.P.: 725 pts.

Pidalo a su librero o contrarreembolso a:

Editorial Fontalba, s.a.

VALENCIA, 359 - 6.º 1.ª
BARCELONA-9 (ESPAÑA)

BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN

Copie o recorte este cupón y envíelo a:
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia, 359, 6.º - Barcelona-9 (España)

Señores: Deseo suscribirme a la revista **MUNDO CIENTÍFICO,** de periodicidad mensual, al precio de oferta de **3.000 pts.** (3.300 pts. precio-número), por el período de un año (11 números) y renovaciones hasta nuevo aviso, cuyo pago efectuaré mediante:

☐ Domiciliación bancaria

☐ Envío talón bancario por 3.000 pts.

A partir del n.º .....

Nombre _____

Apellidos _____

Profesión _____

Domicilio _____

Población _____ Dist. Postal _____

Provincia _____ Tel. _____

País _____ Fecha _____

Firma,

Para el extranjero, enviar adjunto un cheque en dólares:

	Ordinario	Avión
Europa	45 $	50 $
América	50 $	60 $

(Se recomienda para América el envío aéreo).

DOMICILIACIÓN BANCARIA

Lugar y fecha: _____

_____
(Banco o Caja de Ahorros)

_____ D.P. _____
(Domicilio completo de la entidad bancaria)

_____
(N.º de la agencia) (N.º c/c o libreta de ahorro)

Muy Sres. míos:
Ruego a Vds. que, hasta nuevo aviso, abonen a EDITORIAL FONTALBA, S.A., Valencia, 359, 6.º, 1.ª - Barcelona-9 (España), con cargo a mi c/c o libreta de ahorros mencionada, los recibos correspondientes a la suscripción o renovación a la revista **MUNDO CIENTÍFICO.**
Atentamente le saluda:

Fecha _____ Firma,

Titular _____

Domicilio _____

Población _____

NÚMEROS ATRASADOS

Sírvanse enviarme los siguientes números: .....
(agotado el número 5)

forma de pago: ☐ talón adjunto (300 ptas. ejemplar)
☐ contrarrembolso (300 ptas. ejemplar más 50 ptas. por gastos de envío expedición)

Nombre: .....

Domicilio: .....

Población ..... D.P. .....

Provincia .....

VII-1982

LA RECHERCHE

COMITÉ CIENTÍFICO
Pierre Gilles de Gennes
Xavier Le Pichon
Maurice Lévy
François Morel
Guy Ourisson
Charles Thibault

DIRECTOR
Claude Cherki

JEFES DE SECCIÓ
Catherine Allais,
Martine Barrère,
Annick Miquel,
Patricia Pineau,
Pierre Thuillier.

MUNDO CIENTIFICO

DE EDITORIAL FONTALBA

DIRECTOR
José Gili Casals

DIRECTOR CIENTÍFICO
Jaume Josa i Llorca

REDACCIÓN
Ricard Martí
Pilar Merino
María Torres

PRODUCCIÓN
Joan Oró

PROMOCIÓN EXTERIOR
Adelita Doménech

Han colaborado en el presente número

ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN:

La biología en la ingravidez: *Oriol Bachs;* Los elixires de larga vida: *B. Pardo Alzina;* Las anomalías del agua: *Pilar López;* Los SQUID: *Amadeu Montoto;* Dossier: Mito y ciencia: *Josep Cuello;* El videodisco numérico; La cinematografía ultrarrápida: *Teresa Mestre Alcaraz;* La astronomía maya: *Gaspar Roselló Nicolau;* La extinción de las especies: *Albert Masó i Planas;* La macroevolución: *Miguel Hernández Martínez.*

CRÍTICA DE LIBROS:

Bioquímica. Las reacciones químicas en las células vivas: *Pere Suau;* El científico español ante su historia. La ciencia en España entre 1750-1850: *Joaquín Fernández Pérez;* Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea: *Luis Quiroga.*

EDITA
EDITORIAL FONTALBA, S.A.
Valencia, 359 - 6.º
Barcelona-9 (España)
Tels. (93) 258 55 07/08
Télex 97835 FON E

Distribución para España: **Marco Ibérica, S.A.** / Exclusiva de Publicidad **Promedia, S.A.** Av. Príncipe de Asturias, 8 - Entlo., 1.ª - Barcelona-12 Tels. (93) 218 42 55 - 218 41 71 - **Exmecosa:** Claudio Coello, 20 - Madrid-1 Tels. (91) 226 89 23 - 276 81 12 / Fotocomposición: **Grafitex** (Barcelona) Impresión: **Cayfosa** - Sta. Perpetua de Mogoda (Barcelona) España ISSN 0211-3058 / Depósito Legal: B. 10.896-1981 / © Société des Editions Scientifiques. 1982 / © Para la lengua española Editorial Fontalba, S.A. 1982

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización de los editores.

La revista científica de ámbito internacional

Artículos principales del próximo número:

El volcanismo de las Islas Canarias, por J.L. López Ruiz.

El Islam y la ciencia, por Ahmad Y. al-Hassan.

Los biomateriales, por Jacqueline y Marcel Jozefonvicz.

Los márgenes continentales, por Lucien Montadert.

La vida social de los monos, por Jun'ichiro Itani.

Los veleros de regatas, por Silvestre Langevin.

Venus: volcanes bajo un cielo anaranjado, por Alain Repairoux.

La microelectrónica trivializada: los circuitos predifundidos, por Gérard Coutourier.

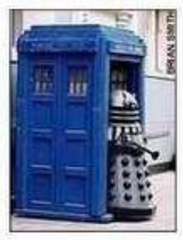
Energía solar para obtener gas de la madera, por Jacques Lédé y Jacques Villermaux.

Y las secciones habituales:

Manifestaciones científicas
Informaciones y noticias
Ciencia y política
Libros
Publicaciones recibidas

ESPACIO DE PUBLICIDAD

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/